



**UNIVERSIDAD DE LAS REGIONES AUTÓNOMAS DE LA
COSTA CARIBE NICARAGUENSE**

URACCAN, RECINTO NUEVA GUINEA

Manual de Diseños Experimentales

Para ingeniería agroforestal e ingeniería en zootecnia

Elaborado por Ing. Carlos Álvarez Amador

Nueva Guinea, 2018

Contenido

I Unidad: Generalidades sobre Experimentación	1
Objetivos de la unidad	1
Breve reseña histórica de la investigación en la agricultura	1
El experimento	4
El objetivo de la experimentación	5
Características de un experimento bien planeado	6
Tipos de Experimentos	9
Actividades de la primera unidad	13
II Unidad: Principios de Experimentación	14
Objetivos de la unidad	14
Importancia de los Métodos Estadísticos en la Experimentación	14
Conceptos Básicos de Hipótesis y Pruebas de Significancia Estadística	15
Niveles de Significancia Estadística	17
Principios Básicos del Diseño Experimental	20
Error Experimental	22
Actividades de la segunda unidad	25
Anexo 1. Tabla de distribución de t	26
III Unidad: Consideraciones Prácticas para Establecer un Experimento y su Influencia en la Precisión Experimental	27
Objetivos	27
Elementos fundamentales de un experimento de campo	27
Actividades de la tercera unidad	35
IV Unidad: Análisis Estadístico de Resultados Provenientes de Experimentos Unifactoriales y Bifactoriales	36
4.1- Diseño Completamente al Azar (D.C.A)	36
El análisis de varianza (ANDEVA) para los DCA	39
¿Qué es el CV, para qué sirve?	41
Anexo 1. Tabla de números aleatorios	60
Anexo 2. Tabla de distribución de FISHER	61
4.2- Diseño de Bloques Completos al Azar (B.C.A)	65
V unidad: Técnicas de Separación de Medias	83
Separación de Medias a través de la Diferencia Mínima Significativa (D.M.S)	84
Prueba de Rangos Múltiples de Duncan	92
Anexo 1. Tabla de distribución de t	102

Anexo 2. Valores de las comparaciones múltiples para la prueba Duncan	103
Actividades para la 4ta y 5ta unidad	105
Referencias	109

I Unidad: Generalidades sobre Experimentación

Objetivos de la unidad

- Diferenciar el concepto de observación y experimento
- Indicar las características que debe poseer un experimento bien planeado
- Categorizar los diferentes tipos de experimentos
- Citar los experimentos más usados en la investigación agroforestal
- Analizar la importancia del método científico en la investigación agroforestal
- Debater acerca de la importancia de la investigación agroforestal en Nicaragua
- Explicar los requisitos y medidas que se deben tomar en cuenta para garantizar el éxito de un experimento agroforestal.

Desarrollo de los contenidos de la unidad

Breve reseña histórica de la investigación en la agricultura

La agricultura tuvo sus orígenes hace unos 8,000 a 10,000 años en algún lugar entre el Río Nilo (en Egipto) y el Río Indo al oeste de la India (los Egipcios cultivaban lino y los Asiáticos arroz), la agricultura llegó a Europa por el año 3000 ac.

El arado de madera apareció por el año 3000 ac, ya desde tiempos remotos se arreglaba el suelo con cenizas, paja, yeso y hasta sal común para incrementar los rendimientos en los cultivos, hasta el siglo XIX se usaron huesos, sal pétrica, roca fosfórica, guano, etc.

Origen de la investigación agrícola

No hubo investigación agrícola sino hasta mediados del siglo pasado, uno de los primeros investigadores fue Thaer, este dedicó mucho tiempo a la investigación, desarrolló un sistema de rotación de cultivos incrementando grandemente sus rendimientos lo que atrajo la atención de los agricultores de la época.

La primera estación experimental del mundo fue fundada en 1834 por J. B. Bousingault en Francia, a él se le atribuye la metodología por la cual se desarrolló la nueva ciencia agrícola, este montaba y conducía cuidadosamente experimentos sobre aspectos muy variados como la inclusión de rastrojos en la rotación de cultivos, fue el primero en probar por medio de experimentos de campo que las

leguminosas tenían la capacidad de obtener Nitrógeno de fuentes no disponibles para otras plantas.

En 1843 se establece una estación experimental cerca de Londres, Inglaterra, específicamente en Rothamsted de esta manera la investigación agrícola siguió creciendo, se inicia la experimentación con parcelas pequeñas, en 1919 se contrata a Ronald A. Fisher para ver lo que los nuevos desarrollos de la estadística podían hacer por la agricultura.

Uno de los grandes logros de Fisher fue establecer las bases fundamentales del diseño y análisis de experimentos y más importante aún los fundamentos de la teoría estadísticas fueron establecidos por Fisher.

Más tarde en 1908, Student otro estudioso de la época en el ramo hace importantes aportes al trabajo de Fisher, con sus trabajos de error probable de una media, técnicas para comparar dos medias a partir de muestras pequeñas.

Prácticamente Fisher es quien da los mayores aportes a la experimentación agrícola fundamentando la teoría estadística, las distribuciones probabilísticas derivadas de la normal, el análisis de varianza (ANDEVA) y la versión actual de los bloques completos al azar, con el análisis de varianza se tiene un procedimiento más de prueba sobre más de dos medias, Fisher en 1926 introduce el proceso de aleatorización de los tratamientos sobre las **unidades experimentales** con lo que se justifica la validez del criterio de prueba.

Observación y experimento

El conocimiento que tenemos de la naturaleza y el mundo que nos rodea lo adquirimos principalmente mediante la observación y el experimento. Cuando observamos y evaluamos (siguiendo métodos razonables). Los fenómenos naturales sin intervenir en lo posible, en el desarrollo de los procesos de dichos fenómenos y las condiciones en que los mismos tienen lugar, se dice que adquirimos un conocimiento de la naturaleza tal y como se manifiesta ésta espontáneamente.

Pero el hombre no se limitó a este simple proceso de observación, sino que trató de intervenir en estos acontecimientos sometiendo su desarrollo a condiciones arbitrarias para ver sus cambios, descubrir sus secretos, examinar después tales intentos y evaluar cómo se han desarrollado los hechos tomando en consideración las condiciones a que fueron sometidos. Esta forma de intervenir en el proceso natural es la que constituye **la Experimentación**.

La observación

En esencia es la comprobación de propiedades dadas en el objeto estudiado por el investigador o el registro de distintas manifestaciones en algún proceso vivo con

vista a su conocimiento, que finalmente en la práctica se traduce en la recolección de datos numéricos o cualitativos.

La observación es una técnica que consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso, tomar información y registrarla para su posterior análisis

Las observaciones sobre las manifestaciones vitales de plantas y animales se han hecho desde tiempos remotos, Sin embargo, esto se hizo sin planificación ni sistematización, como tampoco se efectuó control ninguno para determinar las conclusiones hechas sobre la base de las investigaciones realizadas, éstas eran observaciones espontáneas impuestas por la vida que no obstante permitieron acumular grandes conocimientos en el cultivo de las plantas agrícolas y en la crianza de animales.

En el pasado las observaciones se realizaban generalmente de manera visual y directa, en la actualidad al efectuar las observaciones de unos y otros caracteres y de fenómenos se utilizan los medios e instrumentos más variados para efectuar las mediciones, lo que permite realizar observaciones cada vez más profundas y exactas sobre los procesos vitales en el organismo.

Existen observaciones sistemáticas como las que se llevan a cabo en estaciones meteorológicas, donde se observan factores como temperatura, humedad relativa del aire, precipitaciones, velocidad del viento, entre otros. Otras veces se hacen observaciones en momentos en que es necesario resolver alguna dificultad en la producción por ejemplo el contenido de sustancias nutritivas en el suelo, desarrollo de malas hierbas en un lote dado, deficiencia de nutrientes en un lote dado de animales.

En la mayoría de los casos la observación no da las características cualitativas o cuantitativas del objeto o fenómeno, pero con la sola ayuda de la observación ordinaria no se podría descubrir su esencia y los factores que la condicionan, o sea es insuficiente para el conocimiento completo y multilateral de los fenómenos.

Para revelar en su totalidad las características del fenómeno como las causas que las condicionan se requieren la realización de la denominada observación activa, dirigida a su fin o experimento. La observación es un elemento fundamental de todo proceso investigativo, en ella se apoya el investigador para obtener el mayor número de datos.

Existen dos clases de observación: La Observación no científica y la Observación Científica. La diferencia básica entre una y otra está en la intencionalidad. Observar científicamente significa observar con un objetivo claro, definido y preciso, el investigador sabe qué es lo que desea observar y para qué quiere hacerlo, lo cual implica que debe preparar cuidadosamente la observación. Observar no científicamente significa observar sin intención, sin objetivos definidos y por lo tanto sin preparación previa.

¿Qué pasos debe tener La Observación?

Determinar el objeto, situación, caso, etc. (¿Qué se va a observar?).

Determinar los objetivos de la observación (¿Para qué se vaya a observar?).

Determinar la forma como se van a registrar los datos.

Observar cuidadosamente y críticamente.

Registrar los datos observados.

Analizar e interpretar los datos.

Elaborar conclusiones.

Elaborar el informe de observación (Este paso no puede omitirse si en la investigación se empleen también otras técnicas, en cuyo caso el informe incluye los resultados obtenidos en todo el proceso investigativo).

El experimento

Se han dado muchas definiciones sobre lo que es experimento, en muchos casos poco claros e inexactos, nos limitaremos a dar las fundamentales a nuestro criterio desde el punto de vista biológico en general “**Experimento**” es la práctica para **dirigir** el desarrollo de la **naturaleza** en interés de la sociedad.

De modo más simple definamos **experimento** como el **proceso** donde el investigador provoca artificialmente un fenómeno con el fin de estudiar su esencia, origen e interrelación con otros procesos o fenómenos.

Hernández et al, 1994 definen **experimento** como “un estudio de investigación en el que se **manipulan** deliberadamente dos o más **variables** independientes (supuestas causas) para analizar los **efectos** o consecuencias de esa manipulación sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos) dentro de una situación de **control** para el **investigador**.”

La diferencia entre la observación y la experimentación es que La observación no evalúa el origen, cambios y desarrollo de los fenómenos u objetos que son sometidos a condiciones arbitrarias por el investigador.

Concepto, objetivos e importancia de la experimentación

¿Qué es la Experimentación Agroforestal?

Es un método científico de investigación que consiste en hacer operaciones y prácticas destinadas a demostrar, comprobar o descubrir principios básicos.

La experimentación agroforestal comprende en particular las pruebas, ensayos, observaciones, análisis o estudios prácticos de todo aquello que interesa en la agricultura, ganadería, forestería y agroforestería, esta se considera una investigación cuando se estudia la causa y el efecto de un fenómeno por ejemplo determinar el efecto una leguminosa en asocio sobre el rendimiento de un cultivo [Maíz, *Zea mays*), Frijol (*Phaseolus vulgaris*), Yuca (*Manihot sculenta*)], etc.

Diseño de un experimento: esto simplemente significa planear un experimento de modo que se reúna la información que sea pertinente al problema bajo investigación, pues en algunos casos y muy a menudo se coleccionan datos que pueden tener poco o ningún valor en cualquier intento por resolver una problemática, el **diseño de un experimento es** entonces la secuencia de pasos tomados de antemano para asegurar que los datos apropiados se obtendrán de modo que esto permita un análisis objetivo que conduzca a conclusiones validas con respecto al problema que ha sido previamente establecido. Esta definición de diseño de un experimento implica por supuesto que quien formula el diseño entiende claramente los objetivos de la investigación propuesta.

Como parte integral de la investigación el diseño experimental juega un papel fundamental en la planeación del experimento, los factores a evaluar, el análisis de la interpretación de los datos, etc. estos justifican el estudio del diseño experimental ya que un problema bien planeado ya está medio resuelto, el planeamiento equivocado del problema conduce a que la subsiguiente indagación resulte errada o inexacta.

Reyes Castañeda, plantea que la experimentación agroforestal se puede considerar como un arte y como una ciencia, **como un arte** por la habilidad necesaria para ingeniar, planear, o aplicar un conjunto de técnicas a fin de eliminar causas extrañas y realizar experimentos de campo y de laboratorio o de invernadero, por lo mismo el diseño experimental es una parte fundamental de la experimentación agroforestal como arte.

La investigación agroforestal **como ciencia** por la aplicación del método científico y un conjunto de conocimientos técnico-científicos para el desarrollo de tecnologías que permitan el desarrollo de nuevas tecnologías o nuevas prácticas en el campo agrícola, agroforestal, forestal y pecuario para lograr mejores resultados en estas actividades desde el punto de vista de la cantidad y la calidad.

El objetivo de la experimentación

De acuerdo a Ostle, interpretamos que el objetivo de la experimentación agroforestal es proporcionar una cantidad máxima de **información** relativa al problema bajo investigación. Digamos además que el propósito de la experimentación es proporcionar métodos que permitan obtener la mayor cantidad de información válida a cerca de una problemática en investigación, teniendo en cuenta el factor costo y uso adecuado del material disponible mediante métodos que permitan disminuir el error experimental.

Es importante tener en cuenta que el diseño que se vaya a manejar debe conducirse lo más eficiente posible para ahorrar tiempo, dinero, personal y material experimental, así como lograr la mayor eficiencia estadística.

Importancia de la experimentación

De la Loma (s.f.) Explica como la importancia de la experimentación agroforestal se debe principalmente a que en ella descansa el progreso de la actividad agrícola, agroforestal, pecuaria y forestal mundial, cualquier idea relacionada con la actividad agropecuaria o forestal por genial que esta sea necesita pasar por el lente de la experimentación para que esta pueda ser aceptada y divulgada y por lo tanto llegar a tener éxito.

Características de un experimento bien planeado

Simplicidad: la selección de los tratamientos deberá hacerse del modo más simple posible y deberán ser consistentes con los objetivos de la investigación.

Grado de precisión: debe haber una gran probabilidad de que el experimento sea capaz de medir las diferencias de los tratamientos con los grados de precisión deseados por el experimentador, esto implica un diseño apropiado y un número adecuado de réplicas de los tratamientos.

Ausencia de error sistemático: debe planearse el experimento para asegurarse que las unidades experimentales que reciben un tratamiento no difieran sistemáticamente de las que reciben otro tratamiento, de modo pues que se pueda tener una estimación parcial de cada efecto de los tratamientos.

Rango de validez de las conclusiones: las conclusiones deben tener un rango de validez tan amplio como sea posible, un experimento replicado en tiempo y espacio incrementaría el rango de validez de las conclusiones que podrían sacarse del mismo.

Cálculo del grado de incertidumbre: en cualquier experimento existe siempre un grado de incertidumbre en cuanto a la validez de las conclusiones. El experimento debe ser concebido de modo que resulte posible calcular la posibilidad de obtener los resultados de los tratamientos únicamente debido al azar y no propiamente al efecto de los tratamientos evaluados.

Pasos a seguir en un experimento bien planeado

Para lograr el éxito de un experimento este debe ser correctamente planeado, por lo que se proponen algunos pasos para llevar a cabo este proceso. Entre ellos los siguientes pasos:

Definición del problema

Consiste en establecer clara y concretamente el problema con que estamos tratando, si el problema no es definido claramente hay pocas posibilidades de que este pueda ser resuelto alguna vez, cuando el problema se ha entendido debemos ser capaces de formular preguntas que una vez contrastadas conduzcan a la solución de la problemática planteada.

Determinación de los objetivos

Estos pueden ser la forma en que las preguntas serán contestadas, las hipótesis que se van a comprobar o los efectos que se desea estimar. Los objetivos deben redactarse en términos precisos, hecho esto el experimentador está preparado para plantear más efectivamente sus procedimientos experimentales, cuando se tiene más de un objetivo estos se deben ordenar según su importancia como si tuvieran un lugar en el diseño experimental.

Análisis crítico del problema y de los objetivos

La racionalidad y utilidad de las metas del experimento se verán cuidadosamente a la luz del status actual del conocimiento acerca del problema cabe preguntarse ¿son los objetivos del experimento realmente importantes para la solución del problema?

La selección de un procedimiento para la investigación depende en gran medida de cómo la investigación está siendo conducida, así como de los objetivos de la investigación.

Selección de tratamientos

El éxito de los Experimentos reside en la cuidadosa selección de tratamientos cuya evaluación responderá a las preguntas que tengamos.

Selección del material experimental

Aquí se debe tener en cuenta los objetivos del experimento, así como la población sobre la cual se harán las inferencias, el material experimental probado deberá ser representativo de la población sobre la cual deseamos probar nuestros tratamientos.

Selección del diseño experimental

Nuevamente aquí es importante hacer una consideración de los objetivos, sin embargo una regla general sería elegir el diseño más simple que nos garantice la precisión que buscamos.

Selección de la unidad de observación y del número de repeticiones

Para experimentos de campo esto nos determina el tamaño y la forma de las parcelas de campo, para experimentos con animales esto determina el número de animales que han de ser considerados como una unidad experimental, se debe hacer énfasis en experimentos similares que hayan sido bien conducidos para tomar referencias para los nuestros, el tamaño de la parcela y el número de repeticiones deben ser elegidos para obtener la precisión requerida en la estimación de los tratamientos.

Control de los efectos entre unidades adyacentes

Esto suele llevarse a cabo a través de la utilización de callejones de demarcación y mediante la selección aleatoria de tratamientos.

Consideración acerca de los datos que se van a recabar

Los datos recabados deberán evaluar apropiadamente los efectos del tratamiento de acuerdo con los objetivos del experimento, además se debe dar mucha atención a la recolección de datos que explican el desempeño de los tratamientos.

Esbozo del análisis estadístico y del resumen de los resultados

Se debe considerar como pueden utilizarse los resultados, prepararse posibles tablas o gráficas que muestren los efectos esperados, se comparan estos resultados con los objetivos del experimento a fin de verificar si el mismo suministra las respuestas buscadas.

Conducción del experimento

Ya aquí está montado el diseño experimental y este debe ser manejado de la manera más correcta posible de modo que las diferencias entre individuos o las diferencias asociadas con el orden de recolección de datos puedan ser removidas con el error experimental, si hay datos que parecen fuera de lo normal se debe revisar de inmediato en el campo ese dato para evitar errores en el análisis de estos.

Análisis de los datos e interpretación de los resultados

Todos los datos deberán anotarse como fueron planeados, los resultados deberán interpretarse a la luz de las condiciones experimentales; se comprobará la hipótesis y deberá definirse la relación de los resultados con los hechos previamente establecidos. No olvides que la estadística no demuestra nada y que existe siempre una probabilidad de que las conclusiones puedan ser erróneas. Es por eso que se debe hacer una exhaustiva interpretación de los datos.

Elaboración de un completo, legible y correcto informe de la investigación

No existen resultados negativos, si las hipótesis nula no se rechaza o sea esta se acepta es una evidencia positiva que no pueden existir verdaderas diferencias entre los tratamientos, esto no quiere decir que la investigación no es válida, pero en este sentido el investigador debe saber explicar los resultados del experimento.

Tipos de Experimentos

Experimento preliminar

En estos se prueba un gran número de tratamientos con el objeto de obtener pautas o guías para futuras investigaciones. Casualmente los tratamientos no se repiten en el experimento de campo.

Experimento crítico

Aquí se comparan varios tratamientos utilizando suficientes repeticiones para poder estudiar significativamente las diferencias entre los tratamientos evaluados.

Experimento demostrativo

Estos son generalmente realizados por extensionistas para comparar un nuevo tratamiento con un tratamiento tradicional.

Premisas y Tareas de la Experimentación Agroforestal

Para que el trabajo experimental se realice correctamente se hace necesario cumplir con algunas premisas fundamentales, estas son:

Relación estrecha entre el trabajo experimental y la producción: esto es necesario porque en la producción surgen tareas inmediatas como también cuestiones problemáticas a largo plazo, las cuales debe investigar la producción agropecuaria para ser efectiva y cuya solución se fundamente científicamente.

Conocimiento y utilización del método científico: esto dará la posibilidad al investigador de seleccionar los múltiples problemas surgidos, los fundamentales, los más esenciales, y de más perspectivas dirigir su atención en su solución, además de esto es necesario el uso del método científico para facilitar la solución de las cuestiones biológicas.

Correcta interpretación de la relación entre organismo y el medio ambiente: es necesaria una idea correcta sobre las relaciones entre el organismo y el medio que lo rodea, sobre la importancia de los distintos factores del medio en la formación del organismo, en las condiciones concretas del lugar dado.

Además es necesario una interpretación correcta del papel de las posibilidades hereditarias del organismo en la formación de la producción en un ambiente dado, la interpretación de todos factores dará la posibilidad de combinar lo mejor posible en una investigación dada, el conjunto de causas que condicionan el desarrollo de un organismo y esto creará las condiciones típicas necesarias al realizar el trabajo experimental.

Presencia de conocimientos técnicos amplios y profundos: el dominio de conocimientos técnicos profundos y generales en la esfera de la agronomía por el experimentador son importantes, conocimientos de las condiciones de suelo, y clima, historias, conocimientos sobre el ambiente natural y agrícola, económicos de la región y las tendencias generales de variación de estos aspectos en el futuro.

Clasificación de los Experimentos de Campo

Como es natural, esta agrupación es condicional, es relativa a diversos indicadores de orden práctico, Ivanov Z, 1977 clasifica los experimentos de campo así:

De acuerdo al lugar en que se desarrollan los experimentos:

- a) En estaciones experimentales
- b) En centros de producción.

De acuerdo a su finalidad u objetivo:

- a) De mejoramiento genético: estos son experimentos relacionados a la comparación de variedades, razas, etc. para conocer los rendimientos y cualidades de la producción de las mismas.
- b) Experimentos en agrotecnia a nivel general: estos son experimentos relacionados con técnicas agrícolas, como fertilización, preparación de suelos, densidades de siembra, tipos de siembra, métodos y técnicas más idóneos para luchar contra las plagas y enfermedades.

De acuerdo a su continuidad en el tiempo (a su rotación):

- a) Permanentes: son aquellos que se establecen en las rotaciones de cultivos instaladas en los campos experimentales y las estaciones experimentales y se alternan en las parcelas del cultivo. Estos se establecen por más de 5 años.
- b) Temporales: son aquellos que se establecen en parcelas sin rotación de cultivos predeterminadas y sobre todo en áreas de producción.

De acuerdo al tamaño de la parcela:

- a) Micro experimentos: generalmente coinciden con los experimentos preliminares o de orientación como también se les llama.
- b) Experimentos normales o regulares: son fundamentalmente para resolver un problema dado y coinciden muchas veces con los permanentes.

- c) Macro experimentos: son aquellos que ocupan grandes extensiones que coinciden con los experimentos de producción y se realizan sobre todo en las condiciones de producción (para validación de tecnologías.)

De acuerdo a su duración:

- a) Anuales: tienen como duración un año, sobre estos experimentos no se pueden hacer conclusiones completas y definitivas sobre la calidad de los tratamientos porque en ellos se reflejan las variaciones de las condiciones externas del tiempo.
- b) De varios años: se realizan por 2 o 3 años, es bastante común y los resultados tienen gran confiabilidad, ya que se replican en condiciones ambientales diferentes.
- c) Permanentes: sobre la base de los resultados de experimentos de más de tres años se elaboran conclusiones confiables y mucho más objetivas.

De acuerdo a su relación con otros experimentos:

- a) Unitarios: son aquellos que se efectúan solamente en un lugar con una tarea específica determinada y no tiene relación con otros experimentos.
- b) En serie: se establecen en muchos lugares simultáneamente según una misma metodología, con vista a resolver un mismo problema a una escala por ejemplo, los experimentos de fertilización para conocer la necesidad de fertilizante en un tipo de suelo a nivel nacional, la comparación de variedades que se realizan en lotes para examinar variedades dispersas por todo el territorio nacional.

De acuerdo al número de factores que intervienen en el estudio

a- Unifactoriales: en estos el objetivo de investigación es un sólo factor (principio de la diferencia única), por lo tanto todas las demás condiciones en el experimento son similares excepto el factor a evaluar. Por ejemplo los distintos modos de preparación de suelos para el establecimiento de un determinado cultivo, la época óptima de aplicación de fertilizantes en el cultivo de maíz, métodos de control de malezas, variedades de yuca, distancias de siembra en el cultivo de frijol, etc.

b- Multifactoriales: se hace un esfuerzo por conocer la influencia simultánea de varios factores sobre el desarrollo de los organismos. Aquí se sustituye el principio de la diferencia única por el de la “diferencia múltiple” básicamente tratan de dilucidar la influencia de varios factores sobre un organismo determinado y la relación entre estos factores, imagine que usted quiere conocer el rendimiento de **5 variedades** de Yuca, pero a la vez quiere conocer el rendimiento de estas a **3 distancias de siembra** diferentes, entonces uno de los factores son las variedades, de yuca y el otro sería las distancias de siembra, en ambos factores se desea conocer el efecto sobre el rendimiento en la producción del cultivo.

Relación de la Experimentación agroforestal con otras ciencias

En la planeación de un experimento, así como en su diseño es necesario aplicar un conjunto de disciplinas y conocimientos agronómicos con el fin de encontrar respuestas correctas al problema planteado, para lograr lo anterior es necesario tener conocimientos sobre:

Suelos: a fin de poder elegir el terreno y los más uniformes y adecuados para realizar los experimentos sobre fertilización química, orgánica y otros.

Topografía: para trazar parcelas, diseños de sistemas de riego, etc.

Biología, botánica, entomología, fisiología, genética, nutrición, ecología: para trabajar experimentos con seres vivos.

Tecnología de cultivos y zootecnia: para manejar las unidades experimentales.

Estadística: para evaluar y separar diversas causas de variación y la interpretación de los resultados de los experimentos.

Exigencias Fundamentales al Realizar un Experimento de Campo

Tipicidad: este concepto es sumamente amplio y complejo, pero quiere decir que el experimento se debe llevar a cabo en condiciones de suelo, climáticas, agro-técnicas, etc., análogas a aquellas donde se aplicarán luego las conclusiones formadas sobre la base de su realización.

Disminución del error sistemático (uniformidad): se deben manejar las parcelas de tal forma que aquellas que reciben un tratamiento no difieran sistemáticamente de las que reciben otro tratamiento. De modo que los resultados de los tratamientos se deban al efecto de estos y no al manejo no uniforme del ensayo.

Grado de precisión experimental: esto quiere decir que se debe estar claro de la precisión del experimento, pero además se debe saber que hay un grado de incertidumbre en cuanto a la validez de los resultados, por lo que se debe evitar cometer errores al establecer el experimento y en su manejo para tener resultados con gran precisión experimental y aumentar la precisión de los resultados.

Control efectivo de las medidas y observaciones: para comparar efectivamente los tratamientos es necesario anotar las manifestaciones vitales de los organismos con gran exactitud, los rendimientos de ellos obtenidos, se debe seguir de cerca el cumplimiento de los objetivos durante el desarrollo del experimento.

Rango de validez de las conclusiones: las conclusiones deben tener un rango de validez tan amplio como sea posible, pues al tratarse de seres vivos (plantas y animales) no es posible extrapolar los resultados obtenidos a cualquier condición medioambiental.

La repetición de un experimento en tiempo y espacio ayudará a incrementar el rango de validez de las conclusiones que puedan darse del mismo.

Actividades de la primera unidad

Estimado/a estudiante le pido que haga una lectura crítica y analítica de cada aspecto o subtema referido a las preguntas que le hago en esta guía y en general de todo el documento, recuerde que es usted quien al final debe entender y dominar la temática. Le pido seleccione los puntos que no entienda para ser abordados con profundidad durante la explicación, de tal forma que si no hace una lectura crítica y analítica no será capaz de darse cuenta de lo que entiende y lo que no.

Usted debe entregar de manera individual las respuestas a las siguientes preguntas, sin embargo debe realizar la lectura con otro compañero/a para entender mejor.

- 1- Sintetice en pocas líneas sobre el origen de la investigación agrícola/agroforestal.
- 2- ¿Qué ha entendido usted cómo observación?
- 3- De los pasos que se deben seguir en la observación, explique tres.
- 4- Explique desde su propia óptica y partiendo de la lectura, ¿Qué es experimento?
- 5- ¿Qué entiende usted como experimentación agropecuaria/agroforestal?
- 6- En fin ¿Cuál cree usted que es el objetivo de la experimentación agropecuaria/agroforestal?
- 7- Al nivel que usted ha avanzado en su carrera, ya ha desarrollado algunas experiencias y le surgen ideas sobre temáticas a investigar, las cuales pueden realizarse bajo un experimento, partiendo de este punto ¿Cuál es la importancia de la experimentación agropecuaria/agroforestal?
- 8- Cree usted que para conducir experimentos agroforestales se debe tener en cuenta las características de estos, si es así ¿Cuáles son las características de los experimentos? Comente 3.
- 9- Enliste la clasificación de los experimentos según los diversos criterios establecidos.
- 10- ¿Cuál cree usted que es la relación de la experimentación con otras ciencias, fundamente en función de las asignaturas que hasta el momento usted ha cursado en la carrera?

Nota: lea con calma y detenidamente el documento, luego comente con su compañero/a, evite la transcripción, pues la idea es fomentar el análisis, cuide la redacción y ortografía, enlace bien sus ideas.

II Unidad: Principios de Experimentación

Objetivos de la unidad

- Analizar la importancia de los métodos estadísticos y el diseño experimental en la experimentación.
- Aplicar los conceptos básicos de hipótesis estadística y prueba de significancia estadística en la prueba de hipótesis a través de F (ANDEVA)
- Enumerar las etapas fundamentales de la experimentación.
- Conocer el concepto, importancia, objetivos y ventajas del diseño experimental.
- Enunciar los factores que influyen en la selección del tipo de diseño experimental a usarse en un experimento.

Desarrollo de Contenidos

Importancia de los Métodos Estadísticos en la Experimentación

Los experimentos son llevados a cabo para generar información, pero en muchos experimentos la generación de información deseada depende en gran medida de la valoración que se haga de las situaciones experimentales, los datos biológicos son muy complejos, por lo que el investigador está siempre en la situación de decidir si las comparaciones que miden los efectos de los tratamientos revelan las suficientes diferencias como para que no puedan ser atribuidas al azar (a la casualidad) o a la variación incontrolada. Por mucho que se intente, no se pueden tener todas las fuentes de variación bajo control, los datos siempre muestran diferencias que provienen de fuentes de las que no se tiene interés. Este error de variación puede afectar los datos que nos interesan, por lo tanto para evaluar la gran variabilidad de la mayoría de los materiales experimentales, se requiere el uso de los métodos estadísticos que aseguren la exactitud de las conclusiones con el mínimo gasto de recursos y esfuerzos humanos.

En algunos casos muy particulares no se hace uso riguroso de la estadística, pues no se considera esencial, sin embargo hay muchos problemas experimentales que requieren indispensablemente el apoyo de la estadística para asegurar una eficiente y completa evaluación de los datos.

Hoy en día, casi ninguna de las ramas de las ciencias físicas o biológicas está libre de las matemáticas o de la estadística, pues se debe partir de conocimientos claramente demostrados, es que la estadística trata del desarrollo y aplicación de métodos y técnicas para la recolección, análisis e interpretación de datos de modo que la seguridad de las conclusiones se pueda evaluar por medio de las probabilidades de la estadística.

Los resultados experimentales no son absolutos, son relativos, por lo que las bases que proporcionan para la acción no pueden ser absolutas o perfectas, sino más o menos confiables. **Los métodos estadísticos tienen como función evaluar la confiabilidad de los resultados experimentales, el análisis y condensación apropiada de los datos experimentales, por lo que no se debe olvidar que la estadística es sólo una herramienta a usar en el trabajo investigativo, nos ayuda a saber si se ha trabajado con exactitud, si los datos son representativos,... pero no corrige errores que se hayan cometido en el manejo del experimento.**

En aspectos de estadística, lo ideal sería que cada agroforestal-investigador tenga dominio de las herramientas de análisis que le proporciona la estadística, así como muy bien calificado en su propio campo (suelos, sanidad vegetal o cultivos), sin embargo los investigadores que trabajamos con organismos vivos debemos ser naturalistas, o sea, agrónomo, agroforestal, zootecnista, veterinario, etc. Esto indica que los organismos con los que se trabaja son diversos, como diversas son las condiciones, el tiempo y espacio en que estos se desarrollan, por lo que también se deben conocer los Métodos Estadísticos que permitan valorar los errores cometidos durante las observaciones o la conducción del ensayo, confrontar los datos obtenidos, determinar las relaciones entre fenómenos, elaborar conclusiones correctas y argumentarlas científicamente (Pedroza, 1993).

Se debe tener claro que el éxito del experimento depende de su manejo, del tipo de ensayo elegido y que la aplicación de los métodos estadísticos sólo permite expresar matemáticamente lo que existe de modo objetivo y se observa, pero no descubrir la esencia y causa de los fenómenos, por ello los datos siempre deben ser sometidos a un análisis agrobiológico (técnico) y no sólo estadístico.

Conceptos Básicos de Hipótesis y Pruebas de Significancia Estadística

Hipótesis: Son suposiciones tentativas a cerca de las relaciones entre dos o más variables y se apoyan en conocimientos organizados y sistematizados, es una suposición que permite establecer relaciones entre hechos.

Al probar una hipótesis se está interesado en la suposición de que la diferencia verdadera entre dos o más variables o tratamientos tenga algún valor específico, siendo cero el caso más común (H_0). Se parte del conocimiento de que una hipótesis estadística es una suposición hecha respecto a la función de distribución de una variable aleatoria, o en términos prácticos es un supuesto referente a algún parámetro.

Con respecto a las hipótesis haremos referencia a dos tipos de hipótesis estadísticas: Hipótesis nula (**H_0**) e Hipótesis alternativa (**H_a**).

Hipótesis nula (Ho): Las Ho son, en un sentido lo contrario de las hipótesis de investigación, sólo sirven para refutar o negar lo que afirma la hipótesis de investigación, en otras palabras la Ho se usa para determinar si un tratamiento tuvo algún efecto, se acepta o considera la Ho como la ausencia de efectos, ($H_o: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$), esto significa que los promedios de los tratamientos son iguales, o sea que no existe diferencia entre los tratamientos (no hubo efecto de los tratamientos).

Hipótesis alternativa (Ha): Estas son posibilidades alternativas ante las hipótesis de investigación (nula), ofrecen una descripción o explicación distinta a las que proporcionan estos tipos de hipótesis. La hipótesis alternativa sólo puede formularse cuando efectivamente hay otras posibilidades adicionales a la hipótesis de investigación y nula.

Vamos a citar un ejemplo para ilustrar lo referente a las hipótesis nula y alternativa.

Un investigador desea conocer los efectos de 2 tipos de fertilizantes (químico y orgánico) sobre el rendimiento del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*), por lo que diseña un experimento para investigar lo propuesto, para esto, tendrá unos bloques de cultivo de frijol manejados con fertilizante químico, otros con orgánicos y otros a los que no se les aplica fertilizante (entonces habrá 3 tratamientos, el primero es el frijol manejado con fertilizante químico, el segundo, es el frijol con fertilizante orgánico y el tercero, es el testigo, frijol sin ningún tipo de fertilizante).

En este caso la Ho establece que los promedios de **rendimiento** en los tres tratamientos son iguales, o sea que no existió efectos de los tratamientos (fertilizante químico y orgánico y testigo), esto es $H_o: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$, o sea **$H_o = 0$** . Todos los tratamientos son iguales entre sí. El efecto de los tratamientos es por casualidad (se debe al azar).

La hipótesis alternativa (**Ha**) sería que al menos un par de promedios de los tratamientos difieren entre sí, o sea, que sí hubo efectos de los tratamientos probados, $H_a \neq 0$, se prueba que el efecto de los tratamientos es real y no por casualidad.

Prueba de Significancia Estadística

Cuando se trata de la estimación estadística, la dificultad surge debido a la variabilidad aleatoria típica de los datos experimentales, estos nunca están exactamente de acuerdo con la hipótesis y el problema es decidir si la discrepancia (o diferencia) entre los datos y la hipótesis va a ser atribuidas a las variaciones aleatorias o al hecho de que la hipótesis es falsa realmente, o sea que hay efecto de los tratamientos. La contribución de la estadística para resolver esta dificultad se conoce como **Prueba de Significancia Estadística**

Prueba de Significancia Estadística: Es el procedimiento estadístico que consiste en verificar la probabilidad de que las medias (promedios) tan divergentes como

aquellas provenientes de las muestras, pudieran ocurrir “por casualidad”, si estas fuesen en realidad muestras aleatorias de poblaciones normalmente distribuidas con medias y varianzas iguales. Para ponerlo en mejor lenguaje la prueba de significancia estadística sirve para darnos cuenta si hubo o no efecto de los tratamientos, o sea para aceptar o rechazar la hipótesis nula.

Al realizar la prueba de significancia estadística se alcanzan dos resultados:

- a) Si el análisis estadístico conduce a la conclusión de que se puede esperar que las diferencias entre las medias de los tratamientos ocurran con bastante frecuencia “**por casualidad**”, esto nos lleva a aceptar la H_0 y se concluye que no existen evidencias para afirmar que el efecto de los tratamientos es real. No hay efecto de los tratamientos.

Esto puede expresarse en forma sencilla así: $P(\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2) > 5\%$, esto indica que la diferencia observada entre las medias es casual, puesto que ocurre por casualidad **frecuentemente** (por ejemplo 20, 60, 80, 90 o 95 veces de 100 y sólo existe una probabilidad de éxito de menor del 5% de que esas diferencias sean producto del efecto de los tratamientos y no de causas aleatorias). Este resultado nos conduce a afirmar que el efecto de los tratamientos no es real, sino casual, entonces se acepta la H_0 , o sea que no hay efecto de los tratamientos y se rechaza la hipótesis alternativa.

- b) Si el análisis estadístico indica que las diferencias observadas rara vez podrían ocurrir por casualidad, en muestras aleatorias extraídas de poblaciones con medias y varianzas iguales, se rechazará la H_0 y se concluirá que al menos un par de tratamientos tienen efectos reales, se dice que al menos un par de medias es significativamente diferente de las otras.

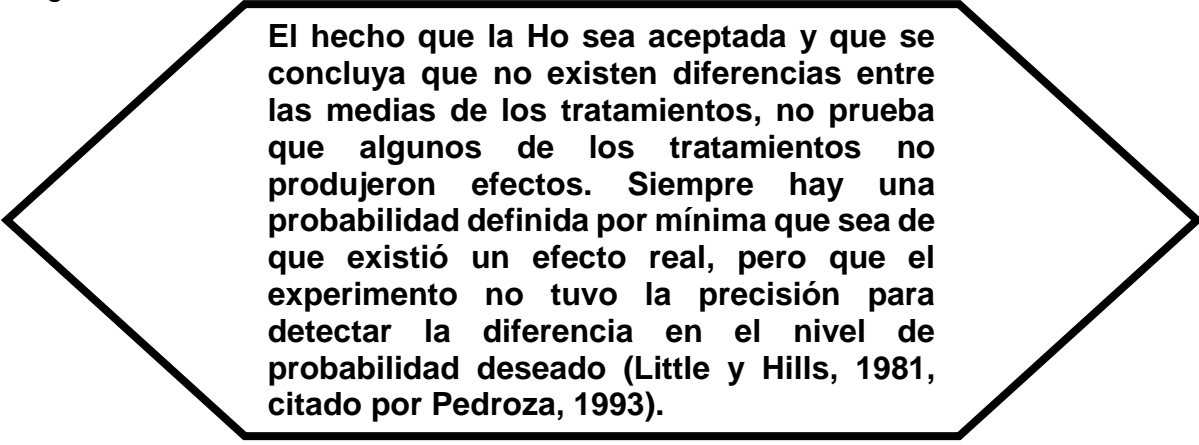
Se puede simplificar así: $P(\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2) < 5\%$, esto nos indica que las diferencias observadas entre las medias existe realmente, puesto que ocurre **rara vez** por casualidad esa diferencia (5 veces de 100), es decir sólo hay un 5% de probabilidad de que esas diferencias observadas sean producto de la casualidad, **esto nos conduce a concluir que existe un 95% de probabilidad de que las diferencias observadas se deben al efecto de los tratamientos, entonces se rechaza la H_0 y se acepta la H_a , o sea que el efecto de los tratamientos es real y no casual**, (Pedroza 1993).

Niveles de Significancia Estadística

En las ciencias agropecuarias es conveniente usar una probabilidad de error, o de rechazar la hipótesis nula siendo verdadera (alfa) de 5% y 1%, el cual debe interpretarse como el margen de error que el investigador prudentemente se fija, esto según el grado de precisión estadística con que se pretenda presentar los resultados.

El nivel de significancia de **5% indica** que el experimentador está dispuesto a aceptar los resultados, sabiendo que hay una probabilidad de **5%** que las conclusiones que él emite a partir del experimento sean erradas o deberse a la casualidad, el **1% de** significancia indica que el experimentador está dispuesto a aceptar los resultados, sabiendo que hay una probabilidad del **1%** que las conclusiones que él emita a partir del experimento sean errados o deberse a la casualidad (Pedroza, 1993).

Si hay la probabilidad de que la variación aleatoria observada entre las medias, pueda ocurrir por casualidad con un **5%** o menos **se dice que las medias son significativamente diferentes** y se simboliza el estadístico **F_c** con un asterisco (*). Si la probabilidad de que la variación observada entre las medias, pueda ocurrir por casualidad con un **1%** o menos **se dice que las diferencias son altamente significativas** y se simboliza con dos asteriscos (**) el estadístico **F_c**. Los asteriscos en la actualidad no siempre son puestos como símbolos de la significancia, lo importante es saber cuándo los valores de **F** son significativos o altamente significativos.



El hecho que la **H₀** sea aceptada y que se concluya que no existen diferencias entre las medias de los tratamientos, no prueba que algunos de los tratamientos no produjeron efectos. Siempre hay una probabilidad definida por mínima que sea de que existió un efecto real, pero que el experimento no tuvo la precisión para detectar la diferencia en el nivel de probabilidad deseado (Little y Hills, 1981, citado por Pedroza, 1993).

Población y Muestra

Población: Se suele llamar población o universo y es todo un grupo de individuos u objetos que poseen algunas características en común, igual se llama al conjunto de datos que se han obtenido en una investigación.

Es un agregado de valores unitarios donde la unidad es aquella cosa u objeto sobre la que se hace la observación. Son ejemplos de una población un grupo de árboles, un grupo de plantas de determinado cultivo, un grupo de insectos plaga, una **parvada** de aves, una población de vacas de determinadas categorías (paridas, horras, gestantes), una **piara** (manada de cerdos, y por extensión la de yeguas, mulas, etc., rebaño de ovejas).

Muestra: Se ha definido muestra como una parte de la población, un conjunto de una población que posee características homólogas a la población a la que pertenece, en experimentación la muestra es una serie de parcelas o individuos (plantas o animales) sometidos a ciertos tratamientos.

Parámetro: Se define como una característica de la población general, son ejemplos de parámetros:

La proporción de plantas vivas en una plantación.

El número total de unidades en la población es un parámetro y también lo es la variabilidad entre los valores unitarios.

Valores que caracterizan una población (ejemplo número de árboles a los que se le aplica un fertilizante).

Variable: Es una característica medible de una unidad experimental. Una variable puede ser **discreta** (*discontinua*) y tomar sólo valores específicos, por ejemplo el número de plantas enfermas por cada parcela, número de especies de malezas en un pastizal, también las variables pueden ser *indiscreta* o **continua** en este caso se toma cualquier valor entre ciertos límites por ejemplo la producción de granos en una parcela, los kilogramos de GMD en un hato de bovinos en engorde, la producción láctea en un grupo de vacas evaluadas con ciertos tratamientos. Las mediciones individuales de una variable se llaman **elemento**.

Estadístico: Es un valor relacionado con los niveles de significancia estadística (5% y 1%), el estadístico es el valor de probabilidad con que se establece el efecto de los tratamientos, se acepta o rechaza la hipótesis nula, según sea el valor del estadístico mayor o menor al **5%** o al **1%**. Puede ser una media, la varianza, la desviación típica, etc.

Concepto de la Experimentación Agroforestal

La experimentación agroforestal, es un método científico de investigación que consiste en hacer operaciones y prácticas destinadas a demostrar, comprobar o descubrir principios básicos en el campo relacionado al que hacer de la agricultura, forestería, agroforestería, etc.

La experimentación agroforestal comprende en particular las pruebas, ensayos, observaciones, análisis o estudios prácticos de todo aquello que interesa en la agricultura, agroforestería, ganadería, etc., (no se entienda ganadería sólo lo relacionado al hato bovino). La experimentación se considera una investigación cuando se estudia la causa y el efecto de un fenómeno por ejemplo *determinar el efecto de 3 distancias de siembra sobre el rendimiento en el cultivo de yuca (Manihot sculenta)*, etc.

Diseño de un experimento: Consiste en planear un experimento de modo que se reúna la información que sea pertinente al problema bajo investigación, pues en algunos casos y muy a menudo se coleccionan datos que pueden tener poco o ningún valor en cualquier intento por resolver una problemática, el **diseño de un experimento es** entonces la secuencia de pasos tomados de antemano para asegurar que los datos apropiados se obtendrán de modo que esto permita un

análisis objetivo que conduzca a conclusiones validas con respecto al problema que ha sido previamente establecido. Esta definición de diseño de un experimento implica por supuesto que quien formula el diseño entiende claramente los objetivos de la investigación propuesta.

Como parte integral de la investigación el diseño experimental juega un papel fundamental en la planeación del experimento, los factores a evaluar, el análisis de la interpretación de los datos, etc. esto justifica el estudio del diseño experimental ya que un problema bien planeado ya está medio resuelto, el planeamiento equivocado del problema conduce a que la subsiguiente indagación resulte errada o inexacta.

Objetivos de la Experimentación Agroforestal

De acuerdo a Ostle, interpretamos que el objetivo de la experimentación agroforestal es **proporcionar** una cantidad máxima de información relativa al problema bajo investigación. Digamos además que el propósito de la experimentación es **proporcionar métodos** que permitan obtener la mayor cantidad de información valida a cerca de una problemática en investigación, teniendo en cuenta el factor costo y uso adecuado del material disponible mediante métodos que permitan disminuir el error experimental.

Es importante tener en cuenta que el diseño que se vaya a manejar debe conducirse lo más eficientemente posible para ahorrar tiempo, dinero, personal y material experimental, así como lograr la mayor eficiencia estadística.

Importancia de la Experimentación Agroforestal

De La Loma (s.f.) Explica que la importancia de la experimentación agroforestal se debe principalmente a que en ella descansa el progreso de la actividad agrícola, agroforestal y pecuaria mundial, cualquier idea relacionada con la actividad agroforestal por genial que esta sea, necesita pasar por el lente de la experimentación, para que esta pueda ser aceptada y divulgada y por lo tanto llegar a tener éxito. Cualquier tecnología en el campo de las ciencias agroforestales que ahora se esté implementando ha sido sometida a investigación bajo el lente de la experimentación y no por una, sino por varias veces y en diferentes contextos y momentos, para poder estar seguros de lo que realmente se puede esperar de esta tecnología.

Principios Básicos del Diseño Experimental

Los principios básicos del diseño experimental son: **repetición, aleatorización y control local.**

Repetición o réplica: Es la reproducción o réplica del experimento básico (asignación de un tratamiento a una unidad experimental). En palabras sencillas es

varias repeticiones del experimento en el campo a la vez o inclusive en momentos diferentes.

Funciones de la repetición

- a) Proporciona una estimación del error experimental, actúa como una unidad básica de medida para indicar el significado de las diferencias observadas.
- c) Brinda una medición más precisa de los efectos de los tratamientos. Esto indica que la réplica hace posible la prueba de significancia estadística.

Aleatorización o azarización: Es la asignación de tratamientos a las unidades experimentales (U.E) de modo que todas las U.E consideradas tengan igual probabilidad de recibir un tratamiento cualquiera, esto permitirá asegurar estimaciones parciales de las medias de los tratamientos y del error experimental.

Funciones de la aleatorización

La azarización hace válida la prueba de significancia estadística, haciéndola apropiada para analizar los datos como si la suposición de errores independientes fuera cierta.

Control local: Este principio permite ciertas restricciones sobre la selección aleatoria para reducir el error experimental. El control local se refiere a la cantidad de balanceo, bloqueo y agrupamiento de las Unidades Experimentales que se emplean en el diseño. Es todo el proceso de control que ejerce el experimentador (investigador) en las parcelas o experimento.

Función del control local

Es hacer al diseño experimental más eficiente, es decir, el control local hace más sensitiva cualquier prueba de significancia, con el control local se reduce la cantidad de error experimental.

Concepto de Unidad Experimental (U. E.)

Es el objeto o espacio al cual se aplica el tratamiento y donde se mide y analiza la variable que se investiga. En los experimentos pecuarios la unidad experimental por lo general está conformada por un animal (cerdo, pato, bovino, etc.), en los experimentos forestales la unidad experimental en la mayoría de los casos está conformado por un árbol y en la mayor parte de las pruebas de campo agrícolas, la unidad experimental es **una parcela** de tierra en lugar de una planta individual.

Otra definición de unidades experimentales: **son los que reciben los estímulos o tratamientos de manera individual**

Pedroza, 1993, define las U. E como el conjunto de materiales a los cuales se le aplica un tratamiento, la U E puede ser una parcela de pastos, una parcela de cultivos en asocio, un grupo de cerdos, un hato bovino, un grupo de pollos de engorde, un grupo de gallinas ponedoras, que todos están siendo sometidos a ciertos tratamientos, pues lógicamente están bajo un experimento.

Una U.E puede constar de una sola hoja, un árbol completo, un área de terreno conteniendo muchas plantas, un sólo animal, diversos animales o todo un hato, parvada o piara.

Tratamientos: Son el conjunto particular de condiciones experimentales que el investigador impone según su interés a las unidades experimentales, los tratamientos vienen a constituir los diferentes procedimientos, procesos, factores o materiales y cuyos efectos van a ser medidos y comparados.

El tratamiento establece un conjunto de condiciones experimentales que deben imponerse a una unidad experimental dentro de los confines del diseño seleccionado.

Son ejemplos de tratamientos:

Dosis de fertilizante, ración alimenticia, profundidad de sembrado, distanciamiento entre plantas, variedades de un cultivo, tipos de vitaminas, porcentajes de proteína en una ración, tipos de leguminosas como suplemento alimenticio, dosis de vitaminas, etc.

Testigo

El testigo es el tratamiento de comparación adicional, que no debe faltar en un experimento; por ejemplo, si se usan cinco tratamientos con fertilizante, el testigo puede ser aquel tratamiento que no incluye fertilizante. La elección del tratamiento testigo es de gran importancia en cualquier investigación, este se constituye como **referencial del experimento** y sirve para la comparación de los tratamientos en prueba.

Supóngase que un investigador en particular desea conocer los efectos de **3** tipos de leguminosas sobre el control de malezas en el cultivo de maíz (*Zea mays*), en este caso tendrá **3** tratamientos y **un** testigo, el tratamiento **1**, es el primer tipo de leguminosas, el tratamiento **2**, es el segundo tipo de leguminosa y **el tercero** es el tercer tipo de leguminosas siempre en asocio con maíz, y **un cuarto** tratamiento es el testigo, es un área de maíz el cual no se asocia con ningún tipo de leguminosa y no se le hace ningún tipo de control de malezas.

Error Experimental

Es la variación aleatoria (no explicada), ajena al control razonable del experimentador, además de error experimental se le conoce como error al azar o

simplemente error. Es un término que no significa equivocación, si no que forma parte de las características biológicas innatas del individuo (plantas o animales), hay que insistir que el término error experimental no es sinónimo de equivocación, sino que incluye todos los tipos de variación extrañas o al azar (Little y Hills, 1981).

Fuentes de error experimental

Cochran y Cox, 1981, establecen que existen dos fuentes de error experimental:

- a) **La variabilidad inherente al material experimental al cual se aplican los tratamientos.** Es característico de las U.E que produzcan resultados diferentes, aun cuando estas son sometidas al mismo tratamiento, estas diferencias normalmente aumentan los valores del error experimental.

Se refiere en pocas palabras a ciertas condiciones ajenas al material experimental y que el investigador “no controla” por ejemplo exceso de humedad por mucha lluvia, plantas estresadas por altas temperaturas o fuertes vientos.

- b) **La falta de uniformidad en la conducción o manejo físico del experimento.** Se refiere a la deficiencia en poder uniformar las técnicas de manejo del experimento, cuando se ejecuta cualquier experimento se efectúan necesariamente muchas labores técnicas, en las que es posible incurrir en deficiencias técnicas que también aumentan el error al azar.

La causa más importante de variabilidad aleatoria (error) es sin duda la diversa fertilidad del suelo (esta varía de un punto a otro) que incide sistemáticamente, esto en el caso de experimentos relacionados con cultivos, en experimentos con animales las fuentes importantes de error son el potencial genético de cada animal y su capacidad metabólica.

La distribución poco uniforme al aplicar los fertilizantes al cultivo, el hecho de que animales y cultivos son atacados por plagas y enfermedades de manera desigual, el hecho de que no se pueden proteger los cultivos al 100% de estas, la influencia no uniforme de las malezas sobre el desarrollo del cultivo, producto de la distribución no uniforme de las malas hierbas, el metabolismo en los animales producto del efecto de las razas, el sexo, inclusive la condición física son causas de error experimental.

Debo aclarar que se debe diferenciar el concepto de error experimental, de lo que constituyen los **errores vulgares: son aquellos errores producidos por ignorancia en el trabajo experimental o por confusión**, por ejemplo mezclar cosechas de dos parcelas diferentes, anotar datos equivocados, mezclar y pesar la leche de dos unidades experimentales con tratamientos diferentes.

Cuando existen errores vulgares y se detectan es necesario o se debe eliminar parte de los resultados, en algunos casos todo el experimento **¿Te das cuenta qué significa eso?** Por eso se debe ser muy serio y organizado en el manejo o

conducción de un experimento, estar claro de cómo se conducirá todo el proceso desde el establecimiento, manejo, toma de datos y análisis de los mismos.

Maneras de reducir el Error Experimental

Se debe estar claro que el error experimental **no se puede eliminar** por completo, **pero si reducirse** con el fin de obtener una estimación más precisa del efecto de los tratamientos, Reyes C. (1982), propone algunas modalidades o maneras/técnicas para reducir el error experimental.

- a. Usar unidades experimentales tan uniformes como sea posible (suelos homogéneos, plantas lo más homogéneas posibles, animales homogéneos en peso, edad, raza, condición física, periodo de lactancia, número de partos, etc.).
- b. El tamaño de unidades experimentales a usar ha de ser el más adecuado, me refiero a la cantidad de plantas en un tratamiento o la cantidad de plantas en una parcela experimental.
- c. Eliminación del efecto de orilla (borde) y competencia mutua entre tratamientos, esto es el uso de parcela útil (**P. U**).

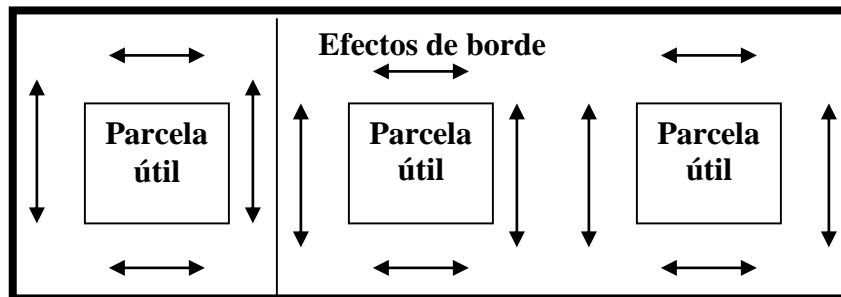


Figura. Esquema de un diseño experimental en campo

- d. Usar un número eficiente de repeticiones para cada tratamiento.
- e. Manejo de las U E lo más uniforme posible (riegos, densidad de siembra, fertilización, control de plagas y malezas, alimentación, establo, control higiénico, vitaminación, desparasitación, etc.), pues no olvides que lo único que varía entre las U E son los tratamientos.
- f. Establecer a todos los tratamientos en igualdad de condiciones, de modo que si alguno será superior a los demás tenga la oportunidad de demostrarlo, y sea efectivamente por lo que constituye el tratamiento como tal.
- g. Hacer una buen aazarización, esto es buena distribución de los tratamientos, estratificación.

- h. Aplicación de métodos estadísticos, que nos permitan separar las diversas causas de variación y poder así sacarle el mejor provecho a los resultados, esto en resumen es usar un diseño experimental adecuado/apropiado.

Actividades de la segunda unidad

Estimado/a estudiante le pido que haga una lectura crítica y analítica de cada aspecto o subtema referido a las preguntas que le hago en esta guía y en general de todo el documento, recuerde que es usted quien al final debe entender y dominar la temática. Le pido seleccione los puntos que no entienda para ser abordados con profundidad durante la explicación, de tal forma que si no hace una lectura crítica y analítica no será capaz de darse cuenta de lo que entiende y lo que no.

Usted y su pareja deben entregar las respuestas a las siguientes preguntas.

- 1- ¿Cómo argumenta usted la importancia de la Estadística en la Experimentación Agropecuaria/agroforestal?
- 2- ¿Considera usted que es más importante la estadística que el manejo que se haga del experimento? Argumente.
- 3- Explique que es la Prueba de Significancia Estadística
- 4- ¿Cuáles son los niveles de significancia estadística usados en la experimentación? ¿Qué significa cada uno?
- 5- ¿Si en un experimento no se cumple con la hipótesis planteada, significa que el experimento no funcionó o no fue bien manejado?
- 6- En esencia cual es o son los Objetivos de la Experimentación Agropecuaria/agroforestal
- 7- Con sus propias palabras explique la Importancia de la Experimentación Agropecuaria/agroforestal

Nota: Lea con calma y detenidamente el documento, luego comente con su compañero/a, evite la transcripción, pues la idea es fomentar el análisis, cuide la redacción y ortografía, enlace bien sus ideas. Estas mismas preguntas serán evaluadas de forma oral/individual en el aula.

Anexos

Anexo 1. Tabla de distribución de t

Grados de libertad	Probabilidad de obtener un valor tan grande o mayor			
	10%	5%	99%	99.9%
	0.10	0.05	0.01	0.001
1	6.314	12.706	63.657	--
2	2.920	4.303	9.925	31.598
3	2.353	3.182	5.841	12.941
4	2.132	2.776	4.604	8.610
5	2.015	2.571	4.032	6.859
6	1.943	2.447	3.707	5.959
7	1.895	2.365	3.499	5.405
8	1.860	2.306	3.355	5.041
9	1.833	2.262	3.250	4.781
10	1.812	2.228	3.169	4.587
11	1.796	2.201	3.106	4.437
12	1.782	2.179	3.055	4.318
13	1.771	2.160	3.012	4.221
14	1.761	2.145	2.977	4.140
15	1.753	2.131	2.947	4.073
16	1.748	2.120	2.921	4.015
17	1.740	2.110	2.898	3.965
18	1.734	2.101	2.878	3.922
19	1.729	2.093	2.861	3.883
20	1.725	2.086	2.845	3.850
21	1.721	2.080	2.831	3.819
22	1.717	2.074	2.819	3.792
23	1.714	2.069	2.807	3.767
24	1.711	2.064	2.797	3.745
25	1.708	2.060	2.787	3.725
26	1.706	2.056	2.779	3.707
27	1.703	2.052	2.771	3.690
28	1.701	2.048	2.763	3.674
29	1.699	2.045	2.756	3.659
30	1.697	2.042	2.750	3.646
35	1.690	2.030	2.724	3.591
40	1.684	2.021	2.704	3.551
45	1.680	2.014	2.690	3.520
50	1.676	2.008	2.678	3.496
55	1.673	2.004	2.669	3.476
60	1.671	2.000	2.660	3.460
70	1.667	1.994	2.648	3.435
80	1.665	1.989	2.638	3.416
90	1.662	1.986	2.631	3.402
100	1.661	1.982	2.625	3.390
120	1.658	1.980	2.617	3.373
<i>infinito</i>	1.6448	1.9600	2.5758	3.2905

Adaptada de Little M. Thomas, Hills F. Jackson, Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura

III Unidad: Consideraciones Prácticas para Establecer un Experimento y su Influencia en la Precisión Experimental

Objetivos

- Analizar los elementos fundamentales para establecer un experimento de campo.
- Aplicar los conceptos básicos de hipótesis estadística y prueba de significancia estadística en la prueba de hipótesis a través de F (ANDEVA).
- Conocer la aplicación del análisis de varianza.

Desarrollo de Contenidos

Elementos fundamentales de un experimento de campo

En la experimentación agroforestal se presentan algunos elementos fundamentales a tener en cuenta a la hora de establecer un ensayo de campo, podemos mencionar algunos de esos elementos: **las variantes o tratamientos, las parcelas y las réplicas.**

Los tratamientos o variantes: Por tratamientos o variantes debemos entender el fenómeno que se estudia, pueden ser variedades de un cultivo, distancias de siembra, formas de control de malezas, frecuencias de aplicación de un determinado fertilizante, etc. **Por ejemplo** en una investigación se pretende determinar el efecto de 3 métodos de control de maleza en determinado cultivo, aquí los tratamientos o variantes serían los métodos de control de malezas.

El número de tratamientos incluidos en un experimento ejerce una influencia determinante sobre la precisión del experimento, cuantos más tratamientos sean probados en iguales condiciones, más área de terreno se necesita para establecer el ensayo, lo que dificulta el montaje del experimento sobre un terreno de fertilidad homogénea y se debe saber que cuanto menos homogéneo es el terreno donde se establece el experimento, menos precisión tendrán los resultados obtenidos. De igual manera, en un experimento con animales, cuantos más tratamientos sean, más animales necesitaremos como unidades experimentales, y en algún momento puede dificultarse disponer de tantas unidades animales homogéneas y se tendrían que incluir animales con ciertas diferencias a otros, lo que reduce la precisión del experimento.

Con el aumento del número de tratamientos o variantes también se aumenta la dimensión del error cometido, el número de tratamientos dependerá de los objetivos del experimento, lógicamente el **mínimo** de tratamientos a evaluar son dos (lo nuevo y el testigo). Generalmente los experimentos de campo se montan con hasta 8 a 10 y 12 tratamientos y hasta 40, 50 y 60 parcelas.

Unidad experimental o parcela experimental: Esto se refiere al área específica donde se establece cada tratamiento, la **unidad experimental** específicamente se conoce como **parcela experimental** y está formada básicamente por dos partes: **El área útil** y el **área de defensa**.

Tamaño de la parcela

Para el tamaño de la parcela y el montaje de esta, hay que considerar la influencia de varios factores, entre ellos:

- La heterogeneidad del suelo (variación del suelo de un punto a otro).
- El grado de precisión deseado.
- El número de repeticiones a establecer en el experimento.
- El tipo de experimento.
- El diseño experimental que se va a usar.
- Las condiciones técnicas con las que se disponen para conducir el ensayo.

Diferentes autores, para los diferentes cultivos han establecido que con el aumento del tamaño de la parcela experimental, se aumenta también la precisión experimental, esto es cierto hasta ciertos límites, después del cual ese aumento en el tamaño de la parcela tiene una influencia negativa en la precisión obtenida producto de la heterogeneidad del suelo y las mayores diferencias en la ejecución del ensayo en el campo.

Esta compleja dependencia se presenta, porque es necesario que todo el experimento esté en los límites de un área relativamente uniforme por su fertilidad.

Tamaño óptimo de parcelas experimentales para diversos cultivos (Reyes, 1982)

Cultivo	Tamaño de la parcela (m ²)	Recomendaciones en surcos
Cereales	25-30	3 surcos y cosechar el central
Maíz	10-44	6 surcos, cosechar 2 centrales
Trigo	5-12	4 surcos, cosechar 2 centrales
Sorgo	20-40	2-3 surcos
Caña de azúcar	200-800	
Pastos	10-50	Evaluar surcos centrales
Plantas forrajeras	5-25	
Frutales	1-4-8 árboles	

Forma de la parcela experimental

La forma de la parcela experimental puede ser distinta y está determinada por su relación **largo-ancho**, así las formas pueden ser:

Parcelas cuadradas: Cuando la relación largo-ancho es 1:1, por ejemplo 5mts de largo por 5 de ancho, 7mts de largo por 7mts de ancho.

Parcela rectangular: Cuando la relación largo-ancho de la parcela es mayor que uno, pero menor que 10, por ejemplo una parcela de con un largo de 20m y ancho de 5m, es decir una relación 4:1, una parcela con L=30m, A=6m, la relación es 5:1

Parcela alargada: Cuando la relación largo-ancho es mayor que 10, por ejemplo una parcela con un largo de 40m y un ancho de 2m, la relación será 20:1.

Como recomendación práctica te sugiero utilizar formas cuadradas para parcelas pequeñas, cuando el experimento tiene parcelas grandes, usar la forma rectangular o alargada. El criterio práctico sugiere guiarse por el principio de tener la parcela con una forma que proporcione un 75% de área igual a la parcela útil y un 25% área de defensa.

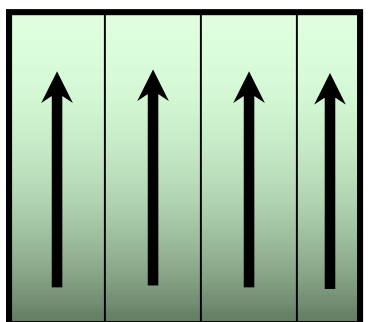
Orientación de la parcela experimental

La orientación de la parcela experimental tiene mucho significado para la precisión de los experimentos, varios factores están entrelazados e influyen sobre la dirección de la parcela experimental cuando estas tienen una forma rectangular o alargada.

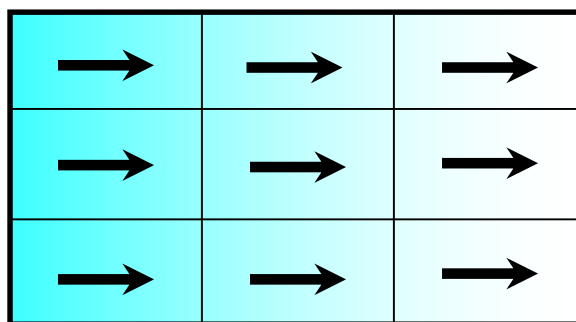
La orientación de las parcelas toma muy en cuenta la luz solar y la dirección de los vientos, pero el factor principal es la variación de la fertilidad del suelo. En un terreno de fertilidad uniforme no tiene mucha importancia la dirección en la que serán dispuestas las parcelas experimentales, sin embargo no es igual cuando la variación de la fertilidad del suelo se produce en una dirección determinada.

Para garantizar igualdad en la influencia de la heterogeneidad del suelo sobre los tratamientos en estudio, las parcelas necesariamente deben ser alargadas o rectangulares y su lado mayor debe estar orientado en la dirección que tiende a variar la fertilidad del suelo (Pedroza, 1993).

La disposición transversal a la dirección en que varía la fertilidad del suelo, conduce a una influencia desigual sobre los tratamientos, por parte de la fertilidad del suelo y esto tiende a alterar la respuesta de los tratamientos (Ivanov, 1977), el siguiente esquema sugiere la orientación de las parcelas según el gradiente de fertilidad del suelo.



(+) Fertilidad (-)
Disposición incorrecta



(+) fertilidad (-)
Disposición Correcta

Lo que nos muestra el esquema es que las parcelas han de ser dispuestas a favor del gradiente de fertilidad, o sea en la misma dirección del gradiente de fertilidad, tengamos en cuenta que en terrenos con pendientes, normalmente la fertilidad varía a favor de la pendiente, por lo que las parcelas en estos terrenos se tendrán que orientar a favor de la pendiente.

Las defensas internas y externas del experimento de campo

En un experimento de campo existen algunas franjas de terreno dentro y fuera de la parcela experimental que no se toman en consideración al momento de hacer las evaluaciones, estas son las **defensas internas y externas**.

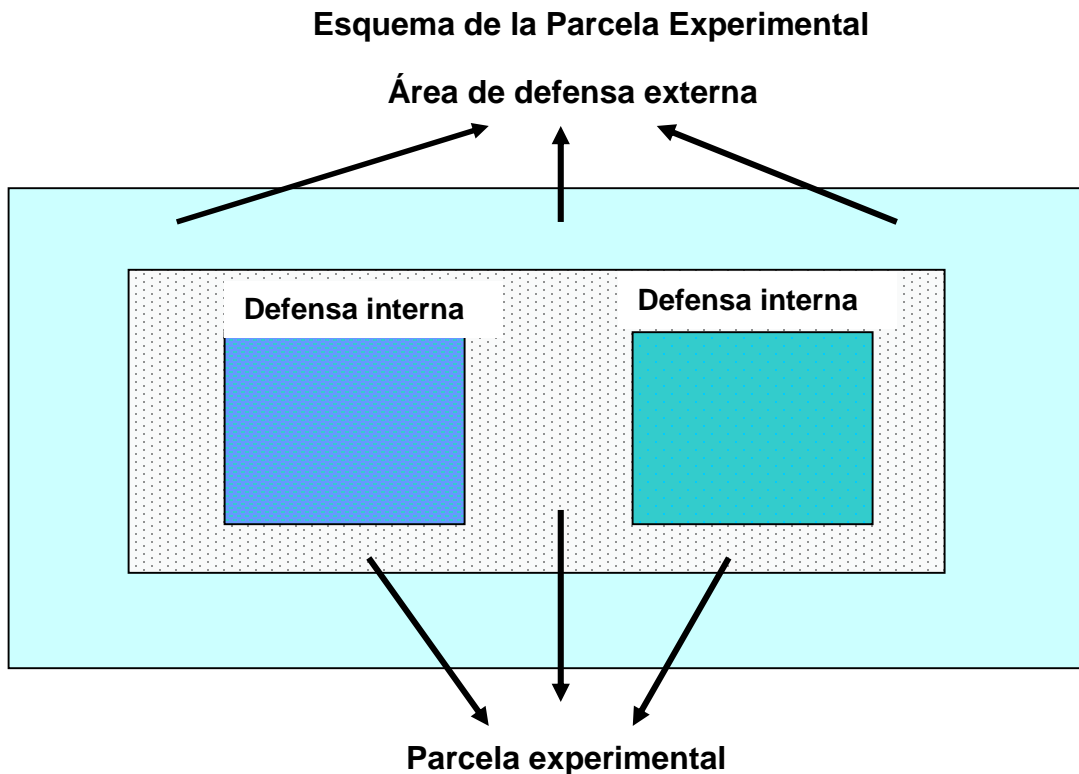
Las defensas internas y el efecto de borde u orilla

Las plantas situadas en los bordes de las parcelas suelen estar en condiciones diferentes que las que están en el centro de la parcela, ya que cuando se establecen caminos o senderos, o por la distancia que se deja para separar un tratamiento de otro, se ponen en condiciones favorables estas plantas, ya que tienen mayor área de absorción, reciben mayor cantidad de luz, etc. Lo que hará que estas plantas tengan un desarrollo más vigoroso que el resto, en otros casos, si estos caminos se mantienen enmalezados se crea una condición desfavorable para las plantas que están a la orilla o al borde de la parcela. **A estas variabilidades se les denomina efecto de borde u orilla.**

Por otra parte es lógico que haya efectos de competencia mutua entre los tratamientos, y que esta competencia está íntimamente relacionada con la naturaleza de los tratamientos, por ejemplo en experimentos que se estudian diferentes variedades de pastos, forrajes o leguminosas, el porte alto de algunas variedades puede afectar el desarrollo de las otras, o sea a los tratamientos vecinos, los experimentos de fertilización, pruebas de diferentes fertilizantes o abonos, sus dosis y épocas de aplicación son ejemplos de competencias no deseadas entre los tratamientos.

Con el objetivo de evitar estas influencias desfavorables del efecto de borde y competencia mutua entre tratamientos, se acostumbra eliminar una franja de cada parcela para suprimir las plantas que se consideran afectadas por dichos efectos. Esta modalidad se conoce como defensas internas. La superficie interna delimitada por la defensa interna de cada parcela se le denomina: **Área Útil o parcela útil.**

Cada parcela experimental está compuesta por dos partes: **área de cálculo y área de defensa**, que en conjunto forman el área de siembra de la parcela experimental, por lo tanto desde la planificación del experimento es necesario tener presente la influencia mutua de los tratamientos vecinos, deben determinarse las defensas internas que serán necesarias para evitar la influencia negativa de los factores que hemos mencionado antes. El ancho de la defensa estará determinado por varios factores, entre otros: el tipo de cultivo, el objetivo del experimento, etc.



Las defensas externas

Además de las defensas internas, en el experimento se deben considerar también la defensa externa alrededor de todo el experimento, el ancho de la franja de defensa externa no debe ser menor de 2 a 3 metros, ellas deben proteger al experimento de la influencia de factores aleatorios e indeseables como plagas, enfermedades, del acceso de animales. Normalmente el área de defensa externa se delimita con un cerco alrededor del área experimental.

Las Réplicas o Repeticiones

Recordá que al inicio de la unidad dijimos que son tres los elementos fundamentales en un diseño experimental: **las variantes o tratamientos, las parcelas y las réplicas.**

El número de réplicas o repeticiones al establecer en un experimento depende de varios criterios a decir:

- La magnitud de las diferencias que deseamos detectar como significativas o grado de precisión requerido (**D%**).
- La heterogeneidad del suelo.
- El número de tratamientos a compararse en el experimento.

- El tipo de diseño experimental a usar.
- El tipo de cultivo en que se realizará el experimento (tipo de material experimental, pues estos pueden ser animales).
- El tamaño de la parcela experimental (en el caso de experimento con animales, es el número animales en cada tratamiento).

Sobre los criterios que antes hemos mencionado, es necesario considerar que uno de los más importantes es el grado de precisión deseado, así cuanto más pequeña sea la diferencia que se quiere detectar como significativa entre los tratamientos, tanto más grande será el número de repeticiones o réplicas que se deben hacer de los tratamientos, por esto es muy importante tener una idea de la magnitud de las diferencias que se quiere detectar.

Sobre la heterogeneidad de los suelos, ciertos suelos son más uniformes en cuanto a su fertilidad que otros (es el factor más común) y para la misma precisión, se requiere menos repeticiones en suelos más uniformes y por lógica se deben hacer más repeticiones en suelos más variables. Sobre heterogeneidad del suelo te hablaré ampliamente más adelante.

En cuanto al número de tratamientos a comparar, se requiere más repeticiones con un menor número de tratamientos, por ejemplo si se van a comparar sólo dos tratamientos, entonces se requiere de más repeticiones que si se van a comparar 10 tratamientos.

En algunos casos el número de repeticiones estará limitado por los recursos con los que se cuenta, así como por el tiempo para realizar el experimento, si los recursos con los que se cuentan para el experimento no son suficientes se debe procurar conseguirlos, aunque esto signifique posponer el experimento o bien reducir el número de tratamientos a evaluar para garantizar un número adecuado de réplicas de los tratamientos y que se puedan detectar diferencias significativas entre los tratamientos.

Está claro que la importancia de las réplicas es que garantizan mayor precisión del efecto de los tratamientos, el número de repeticiones también se liga fuertemente al tamaño de la parcela a usar y el grado de precisión. Algunos investigadores recomiendan usar parcelas pequeñas para poder así incrementar el número de repeticiones. Se recomienda en general usar no menos de 4 repeticiones, aunque esto no debe entenderse como absoluto.

En el caso de experimentos con animales lo que se debe considerar es que las unidades de análisis han de ser lo más homogéneas posibles (en edad, peso, raza, condición física, número de partos, tiempo de lactar, etc.) y en este caso las repeticiones vienen a ser cada una de las unidades animales o individuos sobre los que se aplican los tratamientos, en cuanto al número de animales a utilizar es algo que el investigador decidirá en función del número de tratamientos, la disponibilidad de animales para ser tratados, el tiempo que durará el ensayo, etc.

Concepto de Error Experimental

Es la variación aleatoria (no explicada), ajena al control razonable del experimentador, además de error experimental se le conoce como error al azar o simplemente error. Es un término que no significa equivocación, si no que forma parte de las características biológicas innatas del individuo (plantas o animales), hay que insistir que el término error experimental no es sinónimo de equivocación, sino que incluye todos los tipos de variación extrañas o al azar, (Little y Hills, 1981).

Fuentes de error experimental

Cochran y Cox, 1981, establecen que existen dos fuentes de error experimental:

- c) **La variabilidad inherente al material experimental al cual se aplican los tratamientos.** Es característico de las U.E que produzcan resultados diferentes, aun cuando estas son sometidas al mismo tratamiento, estas diferencias normalmente aumentan los valores del error experimental.

Se refiere en pocas palabras a ciertas condiciones ajenas al material experimental y que el investigador “no controla” por ejemplo exceso de humedad por mucha lluvia, plantas estresadas por altas temperaturas o fuertes vientos.

- d) **La falta de uniformidad en la conducción o manejo físico del experimento.** Se refiere a la deficiencia en poder uniformar las técnicas de manejo del experimento, cuando se ejecuta cualquier experimento se efectúan necesariamente muchas labores técnicas, en las que es posible incurrir en deficiencias técnicas que también aumentan el error al azar.

La causa más importante de variabilidad aleatoria (error) es sin duda la diversa fertilidad del suelo (esta varía de un punto a otro) que incide sistemáticamente, esto en el caso de experimentos relacionados con cultivos, en experimentos con animales las fuentes importantes de error son el potencial genético de cada animal y su capacidad metabólica.

La distribución poco uniforme al aplicar los fertilizantes al cultivo, el hecho de que animales y cultivos son atacados por plagas y enfermedades de manera desigual, el hecho de que no se pueden proteger los cultivos al 100% de estas, la influencia no uniforme de las malezas sobre el desarrollo del cultivo, producto de la distribución no uniforme de las malas hierbas, el metabolismo en los animales producto del efecto de las razas, el sexo, inclusive la condición física son causas de error experimental.

Debo aclarar que se debe diferenciar el concepto de error experimental, de lo que constituyen los **errores vulgares: son aquellos errores producidos por ignorancia en el trabajo experimental o por confusión**, por ejemplo mezclar cosechas de dos parcelas diferentes, anotar datos equivocados, mezclar y pesar la leche de dos unidades experimentales con tratamientos diferentes.

Cuando existen errores vulgares y se detectan es necesario o se debe eliminar parte de los resultados, en algunos casos todo el experimento **¿te das cuenta qué significa eso?** Por eso se debe ser muy serio y organizado en el manejo o conducción de un experimento, estar claro de cómo se conducirá todo el proceso desde el establecimiento, manejo, toma de datos y análisis de los mismos.

Maneras de Reducir el Error Experimental

Se debe estar claro que el error experimental **no se puede eliminar** por completo, **pero sí reducirse** con el fin de obtener una estimación más precisa del efecto de los tratamientos, Reyes C. (1982), propone algunas modalidades o maneras/técnicas para reducir el error experimental.

- i. Usar unidades experimentales tan uniformes como sea posible (suelos homogéneos, animales homogéneos en peso, edad, raza, condición física, periodo de lactancia, número de partos, etc.).
- j. El tamaño de unidades experimentales a usar debe ser el más adecuado, me refiero a la cantidad de animales parte de un tratamiento o la cantidad de plantas en una parcela experimental.
- k. Eliminación del efecto de orilla (borde) y competencia mutua entre tratamientos, esto es el uso de parcela útil (**P. U**).
- l. Usar un número eficiente de repeticiones para cada tratamiento.
- m. Manejo de las U.E lo más uniformes posibles (riegos, densidad de siembra, fertilización, control de plagas y malezas, alimentación, establo, control higiénico, vitaminación, desparasitación, etc.), pues no olvides que lo único que varía entre las U.E son los tratamientos.
- n. Establecer a todos los tratamientos en igualdad de condiciones, de modo que si alguno será superior a los demás tenga la oportunidad de demostrarlo, y sea efectivamente por lo que constituye el tratamiento como tal.
- o. Hacer una buena azarización, esto es una buena distribución de los tratamientos, estratificación.
- p. Aplicación de métodos estadísticos, que nos permitan separar las diversas causas de variación y poder así sacarle el mejor provecho a los resultados, esto en resumen es usar un diseño experimental adecuado/apropiado.

Actividades de la tercera unidad

Estimado/a estudiante le pido que haga una lectura crítica y analítica de cada aspecto o subtema referido a las preguntas que le hago en esta guía y en general de todo el documento, recuerde que es usted quien al final debe entender y dominar la temática, le pido selecciones los puntos que no entiende para ser abordados con profundidad durante la explicación, de tal forma que si no hace una lectura crítica y analítica no será capaz de darse cuenta de lo que entiende y lo que no.

- 1- ¿Cuáles son los elementos fundamentales de un experimento de campo? Dé una explicación sintetizada de cada uno.
- 2- Dé una síntesis explicativa de cada una de las formas de parcelas experimentales, puede escribir ejemplos.
- 3- ¿Cómo debe ser la orientación de las parcelas experimentales?
- 4- Explique por qué se debe considerar las defensas internas en una parcela experimental.
- 5- Haga una síntesis de lo que es área de cálculo y área de defensa
- 6- ¿Qué es error experimental? explique las fuentes de error experimental.
- 7- Explique las formas como se puede reducir el error experimental.

IV Unidad: Análisis Estadístico de Resultados Provenientes de Experimentos Unifactoriales y Bifactoriales

4.1- Diseño Completamente al Azar (D.C.A)

Introducción

Un diseño completamente aleatorizado o azarizado (**DCA**), es un diseño en el cual los tratamientos son asignados completamente al azar a las unidades experimentales, es un diseño que no impone restricciones tales como bloqueo o agrupamientos en la distribución de los tratamientos a las unidades experimentales (Pedroza, 1993).

El **D.C.A** es el diseño más sencillo y se origina por la asignación aleatoria irrestricta de los tratamientos. En este diseño puede probarse cualquier número de tratamientos; resulta deseable, pero no indispensable asignar el mismo número de repeticiones para cada tratamiento.

Debido a su simplicidad, el DCA es muy utilizado, sin embargo el investigador debe ser cauteloso ya que su aplicación debe ser limitada a aquellos casos en los que se dispone de unidades experimentales relativamente homogéneas, si no pueden tenerse tales condiciones es preferible usar alguna forma de bloqueo de las U.E para incrementar la eficiencia del diseño, **por lo general el DCA no es el mejor diseño para ensayos de campo con plantas. Sin embargo puede ser muy bien utilizado en ensayos con animales, ensayos bajo condiciones controladas (Viveros, invernaderos, laboratorios, corral, salas de ordeño, galrones, granjas porcinas y avícolas, etc.).**

En términos prácticos las condiciones de homogeneidad relativa de las U. E que demanda el DCA para su aplicación son inherentes a aquellas condiciones en que es posible mantener determinado control sobre los factores de variabilidad medio ambiental y puede estandarizarse el medio o sustrato receptor de los tratamientos, tal es el caso de experimentos realizados en laboratorio, invernaderos, corral, galrones, salas de ordeño, granjas porcinas y avícolas, etc., en donde se puede garantizar la homogeneidad relativa del material experimental, es importante destacar en el DCA que la homogeneidad de las U.E es lo que permite que los tratamientos se les puedan aplicar completamente al azar; así mismo los tratamientos que se estudian constituyen la única fuente de variación conocida.

Ventajas del D.C.A

- 1- El DCA es flexible, en cuanto al número de tratamientos y de repeticiones, sólo está limitado por el número de unidades experimentales disponibles. El número de repeticiones puede variar de un tratamiento a otro, aunque se recomienda que se debe procurar tener igual número de repeticiones por tratamiento.

- 2- El análisis estadístico del DCA es sencillo, aunque el número de repeticiones por tratamiento sea diferente.
- 3- El número de grados de libertad (gl) para estimar el error experimental es máximo, esto mejora la precisión del experimento y es importante con experimentos pequeños, es decir aquellos en los que los grados de libertad del error experimental son menor de 20.

Desventajas del DCA

Su principal desventaja es su ineficiencia para ensayos de campo con plantas, ya que el error experimental incluye toda la variación entre las U.E, excepto la debida a los tratamientos.

Proceso de aleatorización o azarización del DCA

La aleatorización se logra asignando tratamientos a las unidades experimentales de manera completamente al azar, es decir que cada unidad experimental tenga la misma probabilidad de recibir un tratamiento cualquiera. No se impone restricciones a la aleatorización como cuando se necesita que un bloque contenga todos los tratamientos, la elección del número de observaciones que deben hacerse sobre los diversos tratamientos no se considera una restricción a la aleatorización.

La aleatorización se puede llevar a cabo mediante la tabla de números aleatorios, sin embargo en la realidad práctica se pueden usar otros métodos de sorteo de los tratamientos para las UE.

Pasos para hacer la azarización

- a) Se enumeran todas las UE desde 1 hasta tr unidades, si existen un mismo número de repeticiones por tratamiento, o hasta $\sum n_i$, si el número de repeticiones por tratamiento es diferente.
- b) Extraer al azar los números aleatorios correspondientes a las unidades experimentales que recibirán el primer tratamiento y así sucesivamente para los siguientes tratamientos hasta el último.

Para que lo anterior se entienda mejor veamos un ejemplo. Se va establecer un ensayo para conocer el efecto de 2 suplementos nutricionales sobre la ganancia de peso en cerdos de engorde que están en galeras, se va a tener tres tratamientos (**suplemento 1, suplemento 2, cerdos testigo**), se dispone trabajar con 5 cerdos por tratamientos (en total 15 cerdos), como ya sabrás, esta muestra de cerdos debe ser relativamente homogénea (la misma raza, edad, peso, sexo, etc.).

Las repeticiones serán los 5 cerdos por tratamiento, las unidades experimentales son cada uno de los cerdos a los que se les aplicarán los tratamientos. **¿Cómo azarizamos los tratamientos sobre las UE? ¡Fácil!** Se hace una lista del 1 al 15

(total de cerdos en el experimento), en la realidad se debe saber qué número le corresponde a cada cerdo, luego se mete a una tómbola los 15 números, se procede al sorteo, sacando los primeros 5 números, estos corresponden a los cerdos a los que se les aplicará el tratamiento **uno**, luego se saca los siguientes 5 números, estos corresponden a los cerdos a los que se les aplicará el tratamiento **dos** y los 5 números que quedan en la tómbola, corresponden a los cerdos a los que se les aplicará el tratamiento **testigo** (alimentación normal). Fíjate que en este ensayo se debe dar un manejo igual a los tres grupos de cerdos, lo único que va a variar es la alimentación.

Si querés hacer la aleatorización o **azarización a través de la tabla de números aleatorios** (anexa en este documento), se procede así: los 15 lechones se enumeran del 1 al 15 y utilizando la tabla de números aleatorios, empezamos arbitrariamente hacia abajo en un par de columnas cualquiera, en este caso iniciemos en las columnas 5 y 6, y registremos los primeros 5 números entre el 1 y el 15 (en este caso son 14, 13, 9, 8 y 12), a este grupo de cerdos se le aplica el tratamiento 1, luego continuamos hacia abajo por las mismas columnas para obtener el siguiente grupo que recibirá el tratamiento 2, y que no esté seleccionado en el tratamiento anterior (estos son 11, 6, 7, 1, 15) para el segundo tratamiento.

Como aun nos faltaban tres cerdos para este grupo nos trasladamos al siguiente par de columnas para completarlos (es de donde salen el, 7 y 1) y en ese par de columnas aún no se completó los 5 cerdos, entonces nos trasladamos al siguiente par de columnas (de ahí sale el 15), el tercer tratamiento lo forman los 5 cerdos que quedan.

El Modelo Aditivo Lineal (MAL) para un DCA

Si se tuvieran muestras de t poblaciones con diferentes medias, pero varianza común, La composición de una observación cualquiera estaría dada por el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = La j - esima observación del i -esimo tratamiento

μ = Media poblacional a estimar a partir de los datos

t_i = Efecto del i -esimo tratamiento a estimar a partir de los datos del experimento

ε_{ij} = Efecto aleatorio de variación (error experimental)

i = 1, 2, 3..... t tratamientos

$j = 1, 2, 3, \dots, n$ observaciones

El análisis de varianza (ANDEVA) para los DCA

Este aspecto incluye desde la descripción algebraica del diseño en mención (DCA en este caso), las generalizaciones de los datos iniciales, las fórmulas operacionales, correspondientes, las sumas de cuadrados hasta la tabla del ANDEVA.

Veamos los datos iniciales de un experimento hipotético, en el que se estudiarán 6 tratamientos, 4 observaciones o repeticiones de cada tratamiento, tomaremos este ejemplo hipotético para ilustrar el proceso del análisis de varianza en un DCA.

Tabla #1: Generalización de los datos para un DCA.

Tratamientos	Observaciones					$\bar{Y}_{i.}$ Medias
	1	2	3	4	Totales $Y_{i.}$	
T1	Y11	Y12	Y13	Y14	Y1.	$\bar{Y}_{1.}$
T2	Y21	Y22	Y23	Y24	Y2.	$\bar{Y}_{2.}$
T3	Y31	Y32	Y33	Y34	Y3.	$\bar{Y}_{3.}$
T4	Y41	Y42	Y43	Y44	Y4.	$\bar{Y}_{4.}$
T5	Y51	Y52	Y53	Y54	Y5.	$\bar{Y}_{5.}$
T6	Y61	Y62	Y63	Y64	Y6.	$\bar{Y}_{6.}$
Totales					Y..	$\bar{Y}_{..}$

Ahora conozcamos las ecuaciones para el cálculo de las sumas de cuadrados.

1. Factor de corrección

$$FC = \frac{(Y_{..})^2}{nt}$$

2. Suma de cuadrado total

$$SC \text{ total} = \sum \sum Y_{ij}^2 - FC$$

3. Suma de cuadrado de los tratamientos

$$SC \text{ trat} = \frac{\sum Y_{i.}^2}{n} - FC$$

4. Suma de cuadrado del error

$$SC\ error = Sc\ total - SC\ trat$$

Luego se calculan los grados de libertad, entonces:

Grados de libertad entre tratamientos

$$glet = t - 1$$

Grados de libertad dentro de los tratamientos, este también se conoce como grados de libertad del error (experimental)

$$gldt = t(n - 1)$$

Grados de libertad total, este es la suma de **glet + gldt** o bien

$$glt = (tn) - 1$$

Cálculo de los cuadrados medios (CM)

El cuadrado medio entre tratamiento (CMET) es:

$$CMET = \frac{SCET}{glet}$$

Cuadrado medio dentro de los tratamientos o cuadrado medio del error (CME) es:

$$CME = \frac{SCDT}{gldt}$$

Cálculo del Coeficiente de variación (CV)

$$CV = \frac{\sqrt{CME}}{\text{Promedio } (\overline{Yi.} \text{ o } \overline{X})} * 100$$

Donde:

CME= Cuadrado medio del error (cuadrado medio dentro de los tratamiento).

Promedio ($\overline{Yi.}$ o \overline{X})= es la media de todos los datos, la suma de todos los datos divididos con el numero total de datos.

¿Qué es el CV, para qué sirve?

El CV es una medida relativa de precisión, este indica el grado de precisión con el que se comparan los tratamientos, hay que tener muy en cuenta que cuanto más alto es el CV, menor es la habilidad del experimento para asegurar o predecir con una probabilidad dada que el efecto de los tratamientos es real y no debido al azar o la casualidad.

La aplicación del CV es de importancia cuando se pretende comparar la variabilidad de experimentos que involucre el mismo carácter y que han sido conducidos por diferentes investigadores y/o en diferentes sitios, los investigadores juzgan la aceptabilidad de un experimento basados en el CV de otros experimentos en su ramo, por eso es importante reportar el CV en los reportes de investigación.

Te recuerdo que si el CV es alto esto indica que el experimento no tiene la capacidad de medir la diferencia de los tratamientos, se puede pensar que hubo mala conducción del experimento por parte del investigador, se puede comparar nuestro CV con el de otros estudios de tipo similar al nuestro.

Los buenos coeficientes oscilan entre: menores de **5 hasta 20**, estos son buenos indicadores de cómo se manejó el experimento, CV entre **21 hasta 45** son aceptables, CV **mayores de 45** no son tan buenos por indicar que el experimento no está siendo capaz de medir con precisión las diferencias entre los tratamientos. (Esta es una apreciación personal).

La tabla del análisis de varianza queda estructurada esquemáticamente así:

Tabla # 2: análisis de varianza para (el nombre de la variable).

F de V	SC	GI	CM	Fc	F tabulada
Entre tratamientos	SC Trat	t-1	SCET / t-1	CMET/ CMDT	Se busca en la tabla de F
Dentro de los tratamientos	SCerror	t(n-1)	SCDT / t(n-1)		
Total	SCTotal	(tn)-1			

Te debo aclarar que el análisis de varianza se hace por cada variable que se analiza, por ejemplo si en un ensayo de tipos de fertilizantes en una variedad X de pasto, se evalúan 3 variables (altura del pasto, calidad del pasto y rendimiento), se deberá hacer un análisis de varianza para cada variable.

Te voy a ilustrar con un ejemplo para que terminemos de entender esto

En una granja avícola se estableció un ensayo para determinar el efecto de tres concentrados en la producción de carne en pollos de engorde, a las 6 semanas se obtuvo el peso (en kilogramos) de los pollos que se describen a continuación. En el ensayo se utilizaron 5 réplicas u observaciones por tratamiento (5 pollos por tratamiento).

Tabla #3: Peso (Kg) final de pollos a las 6 semanas bajo tres tipos de concentrado

Tratamientos	Observaciones					Totales Y _i .	\overline{Y}_i . Medi as
	1	2	3	4	5		
Concentrado Tradicional	3.50	3.35	3.6	3.90	4.0	18.35	3.67
Concentrado Mejorado	3.90	4.1	4.2	3.85	4.0	20.05	4.01
Maíz+sorgo molido (testigo)	3.2	3.0	2.90	3.40	3.8	16.3	3.26
Totales (Y..)						54.7	10.94
\overline{Y}_i.Promedios						3.64	3.64

El primer paso es obtener los totales y los promedios de las observaciones.

Fíjate que los totales de la derecha salen de sumar las 5 observaciones de ese tratamiento y el promedio de ese mismo lado (promedio de peso por pollo por tratamiento) sale de dividir lo que dio la suma entre 5.

El promedio final (3.64 Kg.) es el peso promedio de todos los pollos en el ensayo y se obtiene de dividir el total entre el número de observaciones (54.7/15) o la suma de los promedios por tratamientos entre el número de tratamientos (10.94/3).

Segundo paso: Descripción del MAL.

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \varepsilon_{ij}$$

i= tratamientos (3)

j= observaciones o replicas (5)

Y_{ij}= es el dato del peso en kilogramos de pollos por cada uno de los tipos de concentrado, es decir representa la j-esima observación del peso de los pollos registrado en el i-esimo tipo de concentrado evaluado.

μ = es la verdadera media poblacional del peso de los pollos sobre cada tipo de concentrado.

t_i = es el efecto o influencia de la i-esima observación de tipo de concentrado sobre el peso de los pollos.

ϵ_{ij} = es el elemento aleatorio de variación generado en el experimento (error experimental).

Tercer paso: Describir las hipótesis.

$H_0, \sum t_i = 0$, todos los tratamientos son iguales entre sí, o sea que no hay efecto de los tipos de concentrado sobre el peso final de los pollos.

$H_a, \sum t_i \neq 0$, al menos un par de los tratamientos diferirá en los pesos finales de los pollos, o sea que al menos un par de los tratamientos evaluados mostrará diferencia en el peso final de los pollos.

Cuarto paso: Cálculo de la sumas de cuadrados.

$$FC = \frac{(Y_{..})^2}{nt}$$

$$FC = \frac{(54.7)^2}{(5)(3)} \text{ Esto es } \frac{2992.09}{15}, \text{ entonces } FC = 199.47$$

$$SC_{total} = \sum \sum Y_{ij}^2 - FC$$

$$SC_{total} = [(3.5)^2 + (3.90)^2 + (3.2)^2 + (3.35)^2 + (4.1)^2 + (3)^2 + (3.6)^2 + (4.2)^2 \\ + (2.9)^2 + (3.9)^2 + (3.85)^2 + (3.4)^2 + (4)^2 + (4)^2 + (3.8)^2 - 199.47$$

$$SC_{total} = 201.77 - 199.47 = 2.3$$

$$SC_{total} = 2.3$$

$$SC\ trat = \frac{\sum Y_i^2}{n} - FC$$

$$SC\ trat = \frac{(18.35)^2 + (20.05)^2 + (16.3)^2}{5} - 199.47$$

$$SC\ trat = \frac{1004.41}{5} - 199.47$$

$$SC\ trat = 200.88 - 199.47 = 1.41$$

$$SC\ trat = 1.41$$

$$SC\ error = Sc\ total - SC\ trat$$

$$SC\ error = 2.3 - 1.41 = 0.89$$

$$SC\ error = 0.89$$

Ahora procedemos a elaborar la tabla del ANDEVA para la variable peso de pollos.

Tabla # 3.1: Análisis de varianza para el peso final (Kg) de pollos sometidos a tres tipos de concentrado

F de V	SC	GI	CM	Fc	Ft	
					5 %	1%
Tratamientos	1.41	2	0.70	9.46**	3.88	6.93
Error	0.89	12	0.074			
Total	2.3	14				
CV= 7.47%						

Calculemos los grados de libertad.

$$glet = t-1, \text{ esto es } 3-1 = 2$$

$$gldt (\text{error}) = t(n-1), \text{ esto es } 3(5-1) = 3(4) = 12$$

$$gltotal = tn-1 = 3(5)-1 = 15-1 = 14$$

$$CMET = SC_{trat}/glet, \text{ esto es } 1.41/2 = 0.70$$

$$CME = SC\ error/gldt (\text{error}), \text{ esto es } 0.89/12 = 0.074$$

$$Fc = CMET/CME, \text{ esto es } 0.70/0.074 = 9.46$$

La Ft (F tabulada) se encuentra en la tabla de F que va anexa a este documento o que se haya en libros de estadística o experimentación.

Para hallar los valores de Ft según los niveles de significancia se busca en la tabla de F con respecto a los grados de libertad de los tratamientos y del error, los grados de libertad de los tratamientos corresponden a los grados de libertad para el numerador en la tabla y los grados de libertad del error corresponden a los grados de libertad del denominador, estas tablas normalmente traen valores de 10% (0.10), 5% (0.05), 1% (0.01). Para este caso los grados de libertad del numerador son 2 y los del denominador son 12, entonces en la tabla se busca los valores de esto al 5% y al 1%, para el 5% la Ft es **3.88** y para 1% la Ft es **6.93**.

El Coeficiente de Variación (CV) se calcula así:

$$CV = \frac{\sqrt{CME}}{\text{Promedio } (\bar{Y}_i)} * 100$$

$$CV = \frac{0.272}{3.64} * 100 \quad CV = \frac{\sqrt{0.074}}{3.64} * 100$$

Entonces

$$CV = 0.0747 * 100 = 7\%$$

CV= 7.47%, Recordá que el CV se debe expresar en %.

Con respecto a la Fc y Ft, estas son los que nos permiten darnos cuenta si se acepta o se rechaza la hipótesis nula, para esto hay una regla.

Si $F_c > F_t$, aceptamos la H_a y rechazamos la H_o , o sea que hay diferencia significativa (95%) o altamente significativa (99%) en al menos un par de los tratamientos evaluados.

Una vez que hemos hecho todos estos cálculos, procedemos a hacer un análisis del Andeva para la variable evaluada, este análisis (conclusión) debe tomar en cuenta aspectos relacionados con las hipótesis. Veamos.

Conclusión

El ANDEVA para la variable peso demuestra con un 99% de confiabilidad que existe efecto de los tratamientos, o sea que al menos un par de los tres tipos de concentrado muestran diferencias realmente significativas en el peso de los pollos, esto nos conduce rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa con un 99% de probabilidad de que estos resultados se deben al efecto de los tratamientos y sólo un 1% de probabilidad de que estos resultados se deben a la casualidad, por

otro lado el CV es de 7.47 % lo que indica que el experimento fue bien manejado, o sea que tiene la capacidad de predecir el alto grado de precisión de estas conclusiones. Hasta aquí es el análisis del ANDEVA, este análisis es el que se hace cuando se hacen reportes de investigación (en las monografías u otros casos).

Ya te fijaste que hemos afirmado que existe diferencia estadística altamente significativa en al menos un par de tratamientos, sin embargo no sabemos aún cuáles son los tratamientos que estadísticamente difieren entre sí, no sabemos cuál es el mejor tratamiento, cual es el tratamiento ganador. **Esto lo sabremos más adelante, cuando lleguemos a una etapa llamada Pruebas de Separación de Medias.**

Algunos programas estadísticos como el SAS, INFOSTAT, SPSS, MINITAB, etc. Traen el ANDEVA con valores de probabilidad de error o fracaso de $(pr=)$ 0.05 y 0.01 (5 % y 1% respectivamente), esto se interpreta así: **si el valor de P ($pr>F$) es superior al 5% (0.05)** se acepta la hipótesis nula, pero **si el valor de p ($pr<F$) es menor que 5% (0.05)** se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Ilustración del procedimiento para realizar el ANDEVA para un DCA con diferente número de repeticiones por tratamiento

El DCA es uno de los pocos diseños que permite usar diferente número de repeticiones por tratamiento y aun es sencillo su análisis estadístico, hay algunos casos en que se usa un número diferente de unidades experimentales por tratamiento, por ejemplo experimentos con animales para probar diferentes dietas alimenticias, en los que el número de animales por cada tratamiento (comedero) son diferentes, casos de experimentos que se inician con igual número de repeticiones, pero algunas unidades experimentales se pierden por alguna razón.

Para ilustrar esto te presento los datos de un ensayo de campo conducido en un centro experimental bajo un DCA, en este se probaba el comportamiento de diferentes herbicidas post-emergentes, control manual y testigo sobre el rendimiento de un pasto (X), adaptado de Pedroza (1993).

Tabla # 4: Rendimiento de pasto (toneladas/ha) bajo diferentes tipos, dosis y tiempo de aplicación de diferentes herbicidas post-emergentes

Tratamientos Herbicidas	Dosis Kg/ia/ha	Tiempo de aplicac. (DDS)	Rendimiento (ton/ha)					
			1	2	3	4	Totales Yi.	Medias Yi.
Propanil+bromaxynil	2/1.0	21	3.187	4.610	3.562	3.217	14.58	3.64
Propanil 2-4-D- Bee	3/1.0	28	3.390	2.875	2.775	--	9.04	3.01
Propanil Ioxynil	2/0.25	14	2.797	3.001	2.505	3.490	11.793	2.95
Propanil+bromaxynil	2/0.5	14	2.832	3.103	3.448	2.255	11.638	2.91
Propanil/CHCL	3/1.5	21	2.233	2.743	2.727	--	7.248	2.42
Phenyediphan	1.5	14	2.952	2.272	2.470	--	7.694	2.56
Propanil+bromaxynil	2/0.25	28	2.858	2.895	2.458	1.723	9.934	2.48
Propanil IPE	3/1.0	28	2.308	2.335	1.975	--	6.618	2.21
Propanil Ioxynil	2/0.5	28	2.013	1.788	2.248	2.115	8.164	2.04
Control manual (2 veces)	---	15 y 35	3.202	3.060	2.240	2.690	11.192	2.80
Testigo (sin control)	--	--	1.192	1.652	1.075	1.030	4.949	1.24
Totales.							102.85	28.26
Medias (Yi.)							2.57	2.57

Nota: Kg/ia/ha= kilogramos o litros de ingrediente activo por hectárea.

DDS= días después de la siembra.

MAC para el experimento

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

i= 1, 2, 3..... t= 11 —————> tratamientos

j= 1, 2, 3..... $\Sigma n_i = 40$, observaciones

Y_{ij} = Es el dato del rendimiento en ton/ha del pasto (x), es decir representa la j-esima observación del rendimiento registrado en el i-esimo tipo, tiempo y dosis de aplicación del herbicida evaluado.

μ = Es la verdadera media poblacional del rendimiento del pasto (ton/ha)

t_i = Es el efecto o influencia del i-esima tipo- dosis- tiempo de aplicación del herbicida avaluado sobre el rendimiento.

ε_{ij} = Es el elemento aleatorio de variación generado en el experimento (error experimental).

Hipótesis

Ho, $\sum t_i = 0$, todos los tratamientos son iguales entre sí, o sea que no hay efecto de los tipos, dosis y tiempo de aplicación de herbicidas sobre el rendimiento del pasto (X)

Ha, $\sum t_i \neq 0$, al menos un par de los tratamientos difirieren entre sí, o sea que al menos un par de tratamientos mostrará diferencias significativas en el rendimiento del pasto (X).

Cálculo de las Sumas de cuadrados

$$FC = \frac{(Y..)^2}{\sum ni}$$

Aquí no se toma $n \cdot t$ como en el caso anterior, pues es un caso con diferentes número de repeticiones (se toma en cuenta el total de datos que se tienen, o sea 40).

$$FC = \frac{(102.85)^2}{40} = \frac{10,578.12}{40} = 264.45, \text{ entonces } \mathbf{FC = 264.45}$$

$$SC \text{ total} = \sum \sum Y_{ij}^2 - FC$$

$$\begin{aligned} Sc \text{ total} = & [(3.187)^2 + (4.610)^2 + (3.562)^2 + (3.217)^2 + (3.390)^2 + (2.875)^2 \\ & + (2.775)^2 + (2.797)^2 + (3.001)^2 + (2.505)^2 + (3.490)^2 + (2.832)^2 \\ & + (3.103)^2 + (3.448)^2 + (2.255)^2 + (2.233)^2 + (2.743)^2 + (2.727)^2 \\ & + (2.952)^2 + (2.272)^2 + (2.470)^2 + (2.858)^2 + (2.895)^2 + (2.458)^2 \\ & + (1.723)^2 + (2.308)^2 + (2.335)^2 + (1.975)^2 + (2.013)^2 + (1.788)^2 \\ & + (2.248)^2 + (2.115)^2 + (3.202)^2 + (3.060)^2 + (2.240)^2 + (2.690)^2 \\ & + (1.192)^2 + (1.652)^2 + (1.075)^2 + (1.030)^2] - \mathbf{264.45} \end{aligned}$$

$$Sc \text{ total} = 284.71 - 264.45$$

$$Sc \text{ total} = \mathbf{20.26}$$

El cálculo de la suma de cuadrado de los tratamientos varía ligeramente, porque algunos tratamientos tienen 4 observaciones y otros 3.

$$SC\ trat = \frac{\sum Y_i^2}{n} - FC$$

$$Sc\ trat = \frac{(14.58)^2}{4} + \frac{(9.04)^2}{3} + \frac{(11.793)^2}{4} + \frac{(11.638)^2}{4} + \frac{(7.248)^2}{3} + \frac{(7.694)^2}{3} \\ + \frac{(9.934)^2}{4} + \frac{(6.618)^2}{3} + \frac{(8.164)^2}{4} + \frac{(11.192)^2}{4} + \frac{(4.949)^2}{4} - 264.45$$

$$Sc\ trat = 53.14 + 27.24 + 34.76 + 33.86 + 17.51 + 19.73 + 24.67 + 14.59 + 16.67 \\ + 31.31 + 6.12 - 264.45$$

$$Sc\ trat = 279.60 - 264.45 = 15.15$$

$$Sc\ trat = 15.15$$

$$SC\ error = SC\ total - SC\ trat$$

$$Sc\ error = 20.26 - 15.15$$

$$Sc\ error = 5.11$$

Tabla # 4.1: Andeva para el rendimiento de pasto (x) con diferentes herbicidas post-emergentes en diferentes dosis y periodos después de la siembra.

F de V	SC	GI	CM	Fc	Ft	
					5 %	1%
Tratamientos	15.15	10	1.51	8.88**	2.18	3.00
Error	5.11	29	0.17			
Total	20.26	39				
CV= 16%						

Grados de libertad de los tratamientos

$$Glet=t-1, \text{ glet}= 11-1= 10$$

Gldt (gle)= t (n-1), gldt= 11 (4-1)= 11(3)=33, a esto le restamos 4, porque recordá que faltan 4 observaciones en los datos y nos queda que **gldt=29**

Grados de libertad total

Glt= tn-1, esto es glt= (11) (4) - 1, esto es glt=44-1= 43, a esto le restamos 4 por las 4 observaciones que hacen falta y nos queda **glt= 39**

CMET= SCtrat/glet, esto es 15.15/10 = **1.51**

CME= SC error/gldt (error), esto es 5.11/29= **0.17**

Fc= CMET/CME, esto es 1.51/0.17= **8.88**

$$CV = \frac{\sqrt{CME}}{\text{Promedio } (\overline{Yi.})} * 100$$

$$CV = \frac{0.41}{2.57} * 100 \quad CV = \frac{\sqrt{0.17}}{2.57} * 100$$

Entonces

$$CV = 0.16 * 100 = 16\%$$

Conclusión

El ANDEVA para el rendimiento del pasto (X) demuestra con un 99% de probabilidad que existe efecto de los tratamientos ($F_c > F_t$), o sea que al menos un par de los 11 diferentes combinaciones (tratamientos) del tipo-dosis- momento de aplicación de herbicidas muestren diferencias reales entre sí, podemos entonces aceptar la hipótesis alternativa y dar por rechazada la hipótesis nula, además el CV (16%) indica que el experimento fue bien manejado, pues es capaz de comparar con certeza los tratamientos evaluados.

Ilustración del procedimiento estadístico para realizar el ANDEVA de un experimento bifactorial establecido en un DCA

Si le das una hojeadita al documento de la primera unidad de este curso, verás que los experimentos se clasifican de acuerdo a muchos criterios, entre ellos, de acuerdo al número de factores que intervienen en el estudio y entonces los experimentos pueden ser:

- a) Unifactoriales: en estos el objetivo de investigación es un sólo factor (principio de la diferencia única), por lo tanto todas las demás condiciones en el experimento son similares excepto el factor a evaluar. Por ejemplo los distintos modos de preparación de suelos para el establecimiento de pastos, la época óptima de aplicación de fertilizantes en el pasto, los efectos de determinado suplemento proteico en la ganancia de peso en lechones, el efecto de la suplementación de ciertas vitaminas sobre una parvada de aves, la capacidad de un desparasitante de controlar los exto y endoparásitos en un grupo o categoría de animales. Los ejemplos anteriores son experimentos unifactoriales.
- b) Multifactoriales: se hace un esfuerzo por conocer la influencia simultánea de varios factores sobre el desarrollo de los organismos. Aquí se sustituye el principio de la diferencia única por el de la “diferencia múltiple” básicamente tratan de dilucidar la influencia de varios factores sobre un organismo determinado y la relación entre estos factores, imagine que usted quiere probar 5 raciones proteicas en cerdos de engorde, lógicamente quiere conocer la influencia de estas raciones sobre la ganancia de peso, pero a la vez está suministrando estas raciones por categorías de edad en los cerdos, entonces un factor es las raciones proteicas como tal (% de proteína) y el otro sería la edad, finalmente usted se dará cuenta de los efectos de las dosis de proteínas sobre las ganancias medias, pero además conocerá los efectos de la edad sobre la ganancia de peso y todas las posibles relaciones entre estos dos factores. En este caso analizaremos el caso de un experimento bifactorial (dos factores).

Con el objetivo de evaluar la fijación biológica de Nitrógeno fueron inoculadas **tres variedades de frijol común** (*Phaseolus vulgaris*), con tres **tipos de cepas (más una testigo) de Rhizobium**, usando nitrógeno-15, se estableció este experimento conducido por Valverde G, 1993 en condiciones de invernadero para evaluar ambos factores con el mismo grado de precisión, los factores en estudio son:

Factor A:

Son las variedades de frijol

a1 = Rev-79

a2 = Rev-84

a3 = IMBAYO (Ecuatoriano)

Factor B:

Son las cepas de Rhizobium

b1= cepa 1 (nativa de ecuador, testigo)

b2= cepa UMR-1073

b3= cepa UMR-1077

b4= cepa UMR-1899

En estos tipos de ensayos los tratamientos son la combinación de los factores ($a*b$), en este caso los tratamientos serán 3 variedades * 4 tipos de cepas de rhizobium, lo que nos da **12** tratamientos, estos quedan así:

a1b1= Rev.-79 con cepa 1 (nativa de ecuador, testigo)

a1b2= Rev.-79 con cepa UMR-1073

a1b3= Rev.-79 con cepa UMR-1077

a1b4= = Rev.-79 con cepa UMR-1899

a2b1= Rev-84 con cepa 1 (nativa de ecuador, testigo)

a2b2= Rev-84 con cepa UMR-1073

a2b3= Rev-84 con cepa UMR-1077

a2b4= Rev-84 con cepa UMR-1899

a3b1= IMBAYO (Ecuatoriano) con cepa 1 (nativa de ecuador, testigo)

a3b2= IMBAYO (Ecuatoriano) con cepa UMR-1073

a3b3= IMBAYO (Ecuatoriano) con cepa UMR-1077

a3b4= IMBAYO (Ecuatoriano) con cepa UMR-1899

Cuadro #5: Datos fijación de Nitrógeno total (en mg) en tres variedades de frijol y cuatro tipos de cepas de rhizobium

Tratamientos	Observaciones			Totales Y _{ij}	X o sea Y _{ij}
	1	2	3		
a1b1	85.25	98.49	90.37	274.11	91.37
a1b2	114.40	104.86	69.07	288.33	96.11
a1b3	73.9	70.91	65.12	209.93	69.98
a1b4	104.31	84.32	102.83	291.46	97.15
a2b1	85.06	82.08	101.96	269.10	89.70
a2b2	88.24	96.16	107.89	292.29	97.43
a2b3	97.87	71.25	92.19	261.31	87.10
a2b4	65.88	88.15	76.77	230.80	76.93
a3b1	152.20	197.06	175.82	525.08	175.03
a3b2	169.65	169.49	133.96	473.10	157.7
a3b3	124.34	178.43	150.14	452.91	150.97
a3b4	200.30	181.74	213.79	595.83	198.61
Totales				4164.25	1388.08
Promedios \bar{X}				115.67	115.67

Descripción del MAL para el experimento

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij}t_i + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

i= 1, 2, 3..... a niveles de factor A (variedades de frijol)

j= 1, 2, 3, 4.....b niveles del factor B (cepas de Rhizobium)

k= 1, 2, 3..... r observaciones o repeticiones.

Y_{ijk}= Es la k-esima observación del nitrógeno total fijado por el i-j-esimo tratamiento.

μ= Es la verdadera media poblacional a estimar a partir de los datos del nitrógeno total fijado en el experimento.

α_i= Efecto del i-esimo nivel del factor A (variedades) a estimar a partir de los datos del experimento.

β_j= Efecto debido al j-esimo nivel del factor B (tipos de cepas de rhizobium) a partir de los datos del experimento.

$(\infty\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre los factores A y B (variedades y cepas)

ξ_{ijk} = Es el elemento aleatorio de variación generado en el experimento (error experimental).

Hipótesis

$\sum \infty i = 0$ vs (versus) algún par de variedades ejerce algún efecto significativo sobre la cantidad de nitrógeno total fijado.

$\sum \beta_j = 0$ vs algún par de cepas ejerce un efecto significativo sobre la cantidad de nitrógeno total fijado

$\sum (\infty\beta)_{ij} = 0$ vs existe efecto significativo de la interacción (variedad*cepas) sobre la cantidad total de nitrógeno fijado.

Cálculos para el ANDEVA:

Factor de corrección, $F_c = \text{total}/abr$

$$FC = \frac{(Y \dots)^2}{abr}$$

Donde $a = 3$ variedades, $b = 4$ tipos de cepas, $r = 3$ replicas

$$FC = \frac{17,340,978.06}{36} \quad \text{Entonces } FC = \frac{(4164.25)^2}{3 * 4 * 3}$$

$$FC = 481, 693.83$$

$$Sc \text{ total} = \sum Y_{ijk}^2 - FC$$

$$\begin{aligned} Sc \text{ total} = & [(85.25)^2 + (98.49)^2 + (90.37)^2 + (114.40)^2 + (104.86)^2 + (69.07)^2 + (73.9)^2 \\ & + (70.91)^2 + (65.12)^2 + (104.31)^2 + (84.32)^2 + (102.83)^2 + (85.06)^2 + (82.08)^2 \\ & + (101.96)^2 + (88.24)^2 + (96.16)^2 + (107.89)^2 + (97.87)^2 + (71.25)^2 + (92.19)^2 \\ & + (65.88)^2 + (88.15)^2 + (76.77)^2 + (152.20)^2 + (197.06)^2 + (175.82)^2 + (169.65)^2 \\ & + (169.49)^2 + (133.96)^2 + (124.34)^2 + (178.43)^2 + (150.14)^2 + (200.30)^2 \\ & + (181.74)^2 + (213.79)^2] - 481, 693.83 \end{aligned}$$

$$Sc \text{ total} = 548, 541.34 - 481, 693.83$$

Sc total= 66, 847.51

Para el cálculo de las Sumas de Cuadrados de cada factor (A y B), te recomiendo elaborar previamente un cuadro de doble entrada, como el siguiente:

Cuadro #5.1: Totales e interacciones

Factor/nivel		A			Total (Y.j.)
		a1	a2	a3	
B	b1	274.11	269.10	525.08	1,068.29
	b2	288.33	292.29	473.10	1,053.72
	b3	209.93	261.31	452.91	924.15
	b4	291.46	230.80	595.83	1,118.09
Total (Yi.)		1,063.83	1,053.50	2,046.92	4164.25

Ahora calculamos las sumas de cuadrados por factor

$$SCA (variedades) = \frac{\Sigma Y_{i..}^2}{br} - FC$$

$$SCA (var) = \frac{(1063.83)^2 + (1053.50)^2 + (2046.92)^2}{4 \cdot 3} - 481,693.83$$

$$SCA (var) = \frac{6,431,478}{12} - 481,693.83$$

$$SCA (var) = 535,956.5 - 481,693.83$$

$$SCA (var) = \mathbf{54,262.67}$$

$$SCB (cepas) = \frac{\Sigma Y_{.j.}^2}{ar} - FC$$

$$SCB (cepas) = \frac{(1068.29)^2 + (1053.72)^2 + (924.15)^2 + (1118.09)^2}{3 \cdot 3} - 481,693.83$$

$$SCB (cepas) = \frac{4,355,747}{9} - 481,693.83$$

$$SCB (cepas) = 483,971.98 - 481,693.83$$

$$SCB (cepas) = \mathbf{2278.15}$$

La suma de cuadrado de la interacción (A*B) es:

$$SCA * B (variedades * cepas) = \frac{\sum Y_{ij}^2}{r} - FC - SCA - SCB$$

$$SCA*B = \frac{(274.11)^2 + (269.10)^2 + (525.08)^2 + (288.33)^2 + (292.29)^2 + (473.10)^2 + (209.93)^2 + (261.31)^2 + (452.91)^2 + (291.46)^2 + (230.80)^2 + (595.83)^2}{3} - FC - SCA - SCB$$

$$SCA*B = \frac{1,626,363.30}{3} - 481,693.83 - 54,262.67 - 2278.15$$

$$SCA*B = 542,121.10 - 481,693.83 - 54,262.67 - 2278.15$$

$$SCA*B = 3886.45$$

La suma de cuadrados del error es:

$$SCE = S_{ctotal} - SCA - SCB - SCA*B$$

$$SCE = 66,847.51 - 54,262.67 - 2278.15 - 3886.45$$

$$SCE = 6420.23$$

Ahora procedemos con la tabla del ANDEVA

Tabla # 5.2: Análisis de Varianza para la cantidad total de Nitrógeno (mg)

F de V	SC	Gl	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Variedades	54262.67	2	27131.33	101.42**	3.40	5.61
Cepas	2278.15	3	759.38	2.84 NS	3.01	4.72
Var*cepas	3886.45	6	647.74	2.42 NS	2.51	3.67
Error	6420.23	24	267.51			
Total	66,847.51	35				
CV= 14.13%						

NS= significa que no existe efecto significativo de los tratamientos.

$$Gl_{total} = A*B*r-1$$

$$Gl_{total} = 3*4*3-1 = 36-1 = 35$$

$$Gl \text{ (var o sea factor A)} = \text{var}-1, \quad gl \text{ (var)} = 3-1 = 2, \quad \text{entonces} \quad gl \text{ (var)} = 2$$

$$Gl \text{ (cepas o sea factor B)} = \text{cepas}-1, \quad gl \text{ (cepas)} = 4-1 = 3, \quad \text{entonces} \quad gl \text{ (cepas)} = 3$$

Grados de libertad de A*B, o sea Var*cepas es el producto de los grados de libertad de las variedades por las cepas

$$Gl (A*B) = (A-1) (B-1)$$

$$Gl (A*B) = (3-1) (4-1) = (2) (3) = 6$$

Gle= t (n-1) también los $gle = gl_{total} - gl_{var} - gl_{cepas} - gl_{var*cepas}$.

$$Gle = 12 (3-1), \quad gle = 12 (2) = 24, \quad \text{entonces} \quad \mathbf{gle=24}$$

$$CME_{Var} = SC_{var} / gl_{var}, \text{ esto es } CME_{Var} = 54, 262.67 / 2 = \mathbf{27, 131.33}$$

$$CM_{cepas} = SC_{cepas} / gl_{cepas}, \text{ esto es } CM_{cepas} = 2278.15 / 3 = \mathbf{759.38}$$

$$CM_{var*cepas} = SC_{var*cepas} / gl_{var*cepas},$$

$$CM_{var*cepas} = 3886.45 / 6 = \mathbf{647.74}$$

$$CME = SC_{error} / gle, \text{ esto es } CME = 6420.23 / 24 = \mathbf{267.51}$$

$$Fc(var) = CM_{var} / CME, \text{ esto es } Fc(var) = 27131.33 / 267.51 = \mathbf{101.42}$$

$$Fc(cepas) = CM_{cepas} / CME, \text{ esto es } Fc(cepas) = 759.38 / 267.51 = \mathbf{2.84}$$

$$Fc(var*cepas) = CM_{var*cepas} / CME, \text{ esto es}$$

$$Fc(var*cepas) = 647.74 / 267.51 = \mathbf{2.42}$$

Cálculo del coeficiente de variación

$$CV = \frac{\sqrt{CME}}{\text{Promedio } (\bar{Y}_i)} * 100$$

$$CV = \frac{16.35}{115.67} * 100$$

$$CV = \frac{\sqrt{267.51}}{115.67} * 100$$

Entonces

$$CV = 0.1413 * 100 = 14.13\%, \mathbf{CV= 14.13\%}$$

Para hallar los valores de F_t (al 5% y 1%) para las variedades se buscan estos en la tabla de F , primero se busca **F_t para las variedades al 5% (0.05) y 1% (0.01)**, los gl variedades (2) se ubican como numerador en la tabla y los grados de libertad del error (24) se ubican como denominador y el valor de f_t al 5% es de 3.40 y al 1% es de 5.61.

Para hallar los valores de F_t (al 5% y 1%) de las cepas se buscan estos en la tabla de F , primero se busca **F_t para las variedades al 5% (0.05) y 1% (0.01)**, los gl cepas (3) se ubican como numerador en la tabla y los grados de libertad del error (24) se ubican como denominador y el valor de f_t al 5% es de 3.01 y al 1% es de 4.72.

Y finalmente para hallar los valores de F_t (al 5% y 1%) de las var*cepas se buscan estos en la tabla de F , primero se busca **F_t para las variedades al 5% (0.05) y 1% (0.01)**, los gl cepas (6) se ubican como numerador en la tabla y los grados de libertad del error (24) se ubican como denominador y el valor de f_t al 5% es de 2.51 y al 1% es de 3.67.

Conclusiones

En los experimentos bifactoriales, las conclusiones deben redactarse para cada factor de manera independiente entre sí, así como para la interacción, en el ejemplo que estamos resolviendo sería más o menos así.

- a) El ANDEVA demuestra con un 99% de confianza, que existe efecto altamente significativo de las variedades de frijol para fijar nitrógeno, por lo que aceptamos para el factor variedades la hipótesis alternativa (todo lo anterior se afirma porque $F_c > F_t$ al 5% y al 1%, esto es $101.42 > 3.40$ y que 5.61).
- b) El ANDEVA demuestra con un 99 % de confianza que las cepas no tienen efecto real estadísticamente significativo sobre la cantidad de nitrógeno fijado, por lo que podemos aceptar la hipótesis la hipótesis nula.

Recordá que si $F_c > F_t$ aceptamos la H_a y rechazamos la H_o , pero en este caso fijate que $F_c < F_t$ al 5% y al 1% ($2.75 < 3.01$ y que 4.72) por lo que aceptamos la H_o .

- c) En el caso de la interacción (Var*Cepas) el ANDEVA demuestra que no existe efecto de la interacción de las variedades de frijol por las cepas de Rhizobium sobre la cantidad de nitrógeno fijado, por lo que esto nos conduce a aceptar la H_o con un 99% de confianza. (Todo lo anterior se afirma porque $F_c < F_t$ al 5% y al 1%, esto es $2.46 < 2.51$ y que 3.67).

Cuando el efecto de la interacción entre los factores realmente no es significativo, indica que los efectos de los factores son independientes entre sí y se debe por lo tanto hacer conclusiones considerando la independencia de los factores, en este caso debe concluirse de manera independiente para las variedades y para el efecto

de las cepas. Si el efecto de la interacción de los factores es significativo, no se puede concluir que una variedad es mejor y que algunas de las cepas induce a mayor capacidad de fijar nitrógeno, sin considerar más a fondo cómo se comporta cada una de las variedades en estudio.

Anexos

Anexo 1. Tabla de números aleatorios

Para distribuir aleatoriamente cualquier conjunto de diez observaciones o menos, comience por un punto aleatorio de la tabla y siga cada una de las hileras, columnas o diagonales en cada dirección, anote los números en el orden en que estos aparecen, sin importar aquellos que sean mayores que el número que está siendo distribuido aleatoriamente y aquellos que han aparecido antes de la serie. Si desea distribuir aleatoriamente más de diez números, se pueden combinar pares de columnas o hileras para formar números de dos dígitos, siguiéndose el mismo proceso que el descrito anteriormente.

		Filas →																									
Columnas ↓	8	2	0	3	1	4	5	8	2	1	7	2	7	3	8	5	5	2	9	0	6	3	1	6	4		
	3	8	7	3	3	1	9	7	5	2	5	7	6	9	8	0	3	6	2	5	1	2	7	5	2		
	5	3	3	8	6	1	4	2	4	0	2	6	1	8	9	5	2	6	9	8	3	4	0	1	0		
	4	7	5	5	6	3	0	7	7	1	9	1	6	1	7	4	1	7	1	3	7	9	3	3	7		
	7	9	3	9	5	3	4	9	5	5	2	7	5	8	0	3	4	8	8	1	2	7	5	3	4		
	6	8	7	8	1	4	1	4	9	4	2	4	1	5	2	9	4	6	2	1	5	2	8	1	9		
	8	4	8	5	1	3	9	6	6	0	7	2	1	9	0	2	0	6	7	0	6	0	1	3	0		
	9	3	8	8	4	7	5	1	5	1	7	3	4	5	2	0	7	4	7	9	6	6	7	7	4		
	2	5	3	1	9	3	7	4	9	5	0	2	0	1	4	6	2	5	4	5	8	5	0	9	2		
	3	4	5	9	5	2	7	9	8	9	0	5	5	8	5	1	7	7	3	5	5	4	7	7	2		
	7	1	5	3	0	9	1	3	7	2	5	8	7	7	1	3	6	3	9	7	8	7	9	1	7		
	6	2	9	5	6	7	8	5	4	5	3	4	5	4	1	9	8	6	7	5	7	9	3	1	8		
	5	9	2	8	9	8	6	4	4	1	5	3	7	7	0	8	0	2	5	6	0	6	1	2	0		
	3	3	3	3	9	0	5	2	8	7	4	0	9	0	3	7	3	1	7	9	4	5	5	2	8		
	1	6	0	1	0	8	6	2	1	0	0	5	0	3	1	5	4	9	0	3	7	4	7	0	1		
	7	7	0	6	6	3	2	8	8	5	8	9	5	6	4	0	5	9	1	8	0	5	4	9	4		
	2	3	8	5	7	5	7	4	3	4	5	7	9	6	9	5	0	7	7	6	6	8	8	5	9		
	4	1	7	1	3	6	9	2	9	1	9	4	2	3	3	0	8	1	8	7	7	6	4	7	2		
	6	2	2	8	0	9	4	5	3	7	2	5	4	6	6	5	6	6	5	0	4	6	5	6	8		
	8	7	5	9	0	0	2	0	5	6	8	8	5	1	9	5	3	3	7	4	0	5	8	2	4		
	5	3	9	6	9	4	7	3	5	7	0	6	5	4	7	1	1	8	5	3	2	8	0	9	8		
	3	0	8	2	8	1	4	4	1	6	7	6	6	9	9	9	7	5	8	9	6	4	5	9	0		
	7	4	9	1	2	2	0	1	3	2	4	6	7	9	1	8	8	2	9	8	3	2	6	2	9		
	4	2	5	1	4	4	9	6	5	2	8	5	5	1	0	8	2	6	2	0	6	9	2	2	3		
	9	9	2	5	7	4	3	1	2	3	6	4	1	5	2	4	0	4	2	2	8	7	1	8	2		
	6	0	9	1	8	9	4	4	6	1	4	8	6	7	9	2	5	0	6	9	3	3	0	1	2		
	3	5	2	6	1	2	1	7	7	1	4	7	8	1	4	2	7	3	7	4	0	0	1	2	9		
	5	2	9	9	6	4	2	5	3	2	7	4	3	2	3	3	8	5	3	3	6	5	5	3	2		
	1	2	8	3	7	9	6	0	4	8	6	0	5	4	1	1	4	9	0	5	0	9	4	4	1		
	8	9	3	4	1	1	9	5	8	3	2	4	6	7	3	4	4	9	2	3	7	2	5	7	8		
	6	7	5	3	4	2	1	5	5	0	1	2	4	7	5	5	2	6	8	7	8	2	8	0	3		
	5	6	0	1	3	0	5	3	6	6	2	9	6	0	3	4	7	6	1	1	9	1	6	5	3		
	6	6	9	9	6	7	8	5	8	1	2	9	2	6	2	4	4	9	0	5	5	4	5	2	0		
	9	7	7	1	9	2	6	5	6	3	3	6	3	6	8	3	9	9	8	7	7	2	7	9	7		
	4	5	3	3	3	3	7	3	7	6	7	3	9	1	1	2	3	9	0	9	5	9	6	5	7		
	2	8	1	3	1	3	4	2	1	0	3	1	2	3	2	0	2	3	9	7	7	5	0	6	9		
	6	0	9	4	8	8	5	5	3	7	9	0	0	0	0	1	9	2	0	6	1	5	8	4	2		
	1	5	9	0	7	7	0	1	8	1	2	9	3	4	6	9	2	8	9	8	9	8	6	5	5		
	3	4	8	1	1	7	4	4	7	4	4	4	1	6	5	9	3	6	5	9	8	3	2	4	3		
	6	3	9	7	0	6	2	5	3	3	2	6	0	5	1	2	4	3	7	1	0	7	8	2	1		

Anexo 2. Tabla de distribución de FISHER

Tabla para la distribución de F (puntos de 5% y 1%)

Grados de libertad para el denominador (Gle)		Grados de libertad para el numerador (mayor cuadrado medio, es decir grados de libertad de los tratamientos)														
Gle	P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20
1	0.05 (5%)	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	246	248
	0.01 (1%)	4052	4999	5403	5625	5764	5859	5928	5981	6022	6052	6082	6106	6142	6169	6208
2	0.05	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.36	19.37	19.38	19.39	19.4	19.41	19.42	19.43	19.44
	0.01	98.49	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.34	99.36	99.38	99.40	99.41	99.42	99.43	99.44	99.45
3	0.05	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.88	8.84	8.81	8.87	8.76	8.74	8.71	8.69	8.66
	0.01	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.34	27.23	27.13	27.05	26.92	26.83	26.69
4	0.05	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.93	5.91	5.87	5.81	5.80
	0.01	21.2	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.54	14.45	14.37	14.24	14.15	14.02
5	0.05	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	5.52	4.78	4.74	4.70	4.68	4.64	4.600	4.56
	0.01	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.45	10.24	10.15	10.05	9.96	9.89	9.77	9.68	9.55
6	0.05	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.96	3.92	3.87
	0.01	13.74	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.79	7.72	7.60	7.52	7.39
7	0.05	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.63	3.60	3.57	3.52	3.49	3.44
	0.01	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	7.00	6.84	6.71	6.62	6.54	6.47	6.35	6.27	6.15
8	0.05	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.34	3.31	3.28	3.23	3.20	3.15
	0.01	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.19	6.03	5.91	5.82	5.74	5.67	5.56	5.48	5.36
9	0.05	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.13	3.1	3.07	3.02	2.98	2.93
	0.01	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.62	5.47	5.35	5.26	5.18	5.11	5.00	4.92	4.80
10	0.05	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.97	2.94	2.91	2.86	2.82	2.77
	0.01	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.21	5.06	4.95	4.85	4.78	4.71	4.60	4.52	4.41
11	0.05	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.86	2.82	2.79	2.74	2.70	2.65
	0.01	9.65	7.20	6.22	5.67	5.32	5.07	4.88	4.74	4.63	4.54	4.46	4.40	4.29	4.21	4.10
12	0.05	4.75	3.88	3.49	3.26	3.11	3.00	2.92	2.85	2.80	2.76	2.72	2.69	2.64	2.60	2.54
	0.01	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.65	4.50	4.39	4.30	4.22	4.16	4.05	3.98	3.86
13	0.05	4.67	3.80	3.41	3.18	3.02	2.92	2.84	2.77	2.72	2.67	2.63	2.60	2.55	2.51	2.46
	0.01	9.07	6.70	5.74	5.20	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	4.02	3.96	3.85	3.78	3.67
14	0.05	4.6	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.77	2.70	2.65	2.60	2.56	2.53	2.48	2.44	2.39
	0.01	8.86	6.51	5.56	5.03	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.86	3.80	3.70	3.62	3.51
15	0.05	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.70	2.64	2.59	2.55	2.51	2.48	2.43	2.39	2.33
	0.01	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.73	3.67	3.56	3.48	3.36

Tabla para la distribución de F (puntos de 5% y 1%)

Grados de libertad para el denominador (Gle)		Grados de libertad para el numerador (mayor cuadrado medio, es decir grados de libertad de los tratamientos)														
Gle	P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20
16	0.05	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.45	2.42	2.37	2.33	2.28
	0.01	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.61	3.55	3.45	3.37	3.25
17	0.05	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.62	2.55	2.50	2.45	2.41	2.38	2.33	2.29	2.23
	0.01	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.52	3.45	3.35	3.27	3.16
18	0.05	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.29	2.25	2.19
	0.01	8.28	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.85	3.71	3.6	3.51	3.44	3.37	3.27	3.19	3.07
19	0.05	4.36	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.55	2.48	2.43	2.38	2.34	2.31	2.26	2.21	2.15
	0.01	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.36	3.30	3.19	3.12	3.00
20	0.05	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.52	2.45	2.40	2.35	2.31	2.28	2.23	2.18	2.12
	0.01	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.71	3.56	3.45	3.37	3.30	3.23	3.13	3.05	2.94
21	0.05	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.20	2.15	2.09
	0.01	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.65	3.51	3.40	3.31	3.24	3.17	3.07	2.99	2.88
22	0.05	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.47	2.4	2.35	2.30	2.26	2.23	2.18	2.13	2.07
	0.01	7.94	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.18	3.12	3.02	2.94	2.83
23	0.05	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.45	2.38	2.32	2.28	2.24	2.20	2.14	2.10	2.04
	0.01	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.14	3.07	2.97	2.89	2.78
24	0.05	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.43	2.36	2.30	2.26	2.22	2.18	2.13	2.09	2.02
	0.01	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.25	3.17	3.09	3.03	2.93	2.85	2.74
25	0.05	4.24	3.38	2.99	2.76	2.60	2.49	2.41	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.11	2.06	2.00
	0.01	7.77	5.57	4.68	4.18	3.86	3.63	3.46	3.32	3.21	3.13	3.05	2.99	2.89	2.81	2.7
26	0.05	4.22	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.1	2.05	1.99
	0.01	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.17	3.09	3.02	2.96	2.83	2.77	2.66
27	0.05	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.30	2.25	2.20	2.16	2.13	2.08	2.03	1.97
	0.01	7.68	5.49	4.60	4.11	3.79	3.56	3.39	3.26	3.14	3.06	2.98	2.93	2.83	2.74	2.63
28	0.05	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.44	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.06	2.02	1.96
	0.01	7.64	5.45	4.57	4.07	3.76	3.53	3.36	3.23	3.11	3.03	2.95	2.90	2.80	2.71	2.60
29	0.05	4.18	3.33	2.93	2.70	2.54	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.05	2.00	1.94
	0.01	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.08	3.00	2.92	2.87	2.77	2.68	2.57
30	0.05	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.34	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.04	1.99	1.93
	0.01	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.06	2.98	2.90	2.84	2.74	2.66	2.55

Tabla para la distribución de F (puntos de 5% y 1%)

Grados de libertad para el denominador (Gle)		Grados de libertad para el numerador (mayor cuadrado medio, es decir grados de libertad de los tratamientos)														
Gle	P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20
32	0.05	4.15	3.30	2.9	2.67	2.51	2.40	2.32	2.25	2.19	2.14	2.10	2.07	2.02	1.97	1.91
	0.01	7.50	5.34	4.46	3.97	3.66	3.42	3.25	3.12	3.01	2.94	2.86	2.80	2.70	2.62	2.51
34	0.05	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.30	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.00	1.95	1.89
	0.01	7.44	5.29	4.42	3.93	3.61	3.38	3.21	3.08	2.97	2.89	2.82	2.76	2.66	2.58	2.47
36	0.05	4.11	3.26	2.86	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.10	2.06	2.03	1.98	1.93	1.87
	0.01	7.39	5.25	4.38	3.89	3.58	3.35	3.18	3.04	2.94	2.86	2.78	2.72	2.62	2.54	2.43
38	0.05	4.10	3.25	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.96	1.92	2.85
	0.01	7.35	5.21	4.34	3.86	3.54	3.32	3.15	3.02	2.91	2.82	2.75	2.69	2.59	2.51	2.40
40	0.05	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.07	2.04	2.00	1.95	1.90	1.84
	0.01	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.88	2.80	2.73	2.66	2.56	2.49	2.37
42	0.05	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.02	1.99	1.94	1.89	1.82
	0.01	7.27	5.15	4.29	3.8	3.49	3.26	3.1	2.96	2.86	2.77	2.7	2.64	2.54	2.46	2.35
44	0.05	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.92	1.88	1.81
	0.01	7.24	5.12	4.26	3.78	3.46	3.24	3.07	2.94	2.84	2.75	2.68	2.62	2.52	2.44	2.32
46	0.05	4.05	3.20	2.81	2.57	2.42	2.30	2.22	2.14	2.09	2.04	2.00	1.97	1.91	1.87	1.80
	0.01	7.21	5.10	4.24	3.76	3.44	3.22	3.05	2.92	2.82	2.73	2.66	2.60	2.50	2.42	2.30
48	0.05	4.04	3.19	2.80	2.56	2.41	2.30	2.21	2.14	2.08	2.03	1.99	1.96	1.90	1.86	1.79
	0.01	7.19	5.08	4.22	3.74	3.42	3.20	3.04	2.90	2.80	2.71	2.64	2.58	2.48	2.40	2.28
50	0.05	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.02	1.98	1.95	1.90	1.85	1.78
	0.01	7.17	5.06	4.20	3.72	3.41	3.18	3.02	2.88	2.78	2.70	2.62	2.56	2.46	2.39	2.26
55	0.05	4.02	3.17	2.78	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.05	2.00	1.97	1.93	1.88	1.83	1.76
	0.01	7.12	5.01	4.16	3.68	3.37	3.15	2.98	2.85	2.75	2.66	2.59	2.53	2.43	2.35	2.23
60	0.05	4.00	3.15	2.76	2.52	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.86	1.81	1.75
	0.01	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63	2.56	2.50	2.40	2.32	2.20
65	0.05	3.99	3.14	2.75	2.51	2.36	2.24	2.15	2.08	2.02	1.98	1.94	1.90	1.85	1.80	1.73
	0.01	7.04	4.95	4.10	3.62	3.31	3.09	2.93	2.79	2.70	2.61	2.54	2.47	2.37	2.30	2.18
70	0.05	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.14	2.07	2.01	1.97	1.93	1.89	1.84	1.79	1.72
	0.01	7.01	4.92	4.08	3.60	3.29	3.07	2.91	2.77	2.67	2.59	2.51	2.45	2.35	2.28	2.15
80	0.05	3.96	3.11	2.72	2.48	2.33	2.21	2.12	2.05	1.99	1.95	1.91	1.88	1.82	1.77	1.70
	0.01	6.96	4.88	4.04	3.56	3.25	3.04	2.87	2.74	2.64	2.55	2.48	2.41	2.32	2.24	2.11

Tabla para la distribución de F (puntos de 5% y 1%)

Grados de libertad para el denominador (Gle)		Grados de libertad para el numerador (mayor cuadrado medio, es decir grados de libertad de los tratamientos)														
Gle	P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20
100	0.05	3.94	3.09	2.70	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.79	1.75	1.68
	0.01	6.90	4.82	3.98	3.51	3.20	2.99	2.82	2.69	2.59	2.51	2.43	2.36	2.26	2.19	2.06
125	0.05	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.77	1.72	1.65
	0.01	6.84	4.78	3.94	3.47	3.17	2.95	2.79	2.65	2.56	2.47	2.40	2.33	2.23	2.15	2.03
150	0.05	3.91	3.06	2.67	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.76	1.71	1.64
	0.01	6.81	4.75	3.91	3.44	3.14	2.92	2.76	2.62	2.53	2.44	2.37	2.30	2.20	2.12	2.00
200	0.05	3.89	3.04	2.65	2.41	2.26	2.14	2.05	1.98	1.92	1.87	1.83	1.80	1.74	1.69	1.62
	0.01	6.76	4.71	3.88	3.41	3.11	2.90	2.73	2.60	2.50	2.41	2.34	2.28	2.17	2.09	1.97
400	0.05	3.86	3.02	2.62	2.39	2.23	2.12	2.03	1.96	1.90	1.85	1.81	1.78	1.72	1.67	1.60
	0.01	6.70	4.66	3.83	3.36	3.06	2.85	2.69	2.55	2.46	2.37	2.29	2.23	2.12	2.04	1.92
1000	0.05	3.85	3.00	2.61	2.38	2.22	2.10	2.02	1.95	1.69	1.84	1.80	1.76	1.70	1.65	1.58
	0.01	6.66	4.62	3.8	3.34	3.04	2.82	2.66	2.53	2.43	2.34	2.26	2.20	2.09	2.01	1.89
∞	0.05	3.84	2.99	2.60	2.37	2.21	2.09	2.01	1.94	1.88	1.83	1.79	1.75	1.69	1.64	1.57
	0.01	6.64	4.60	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41	2.32	2.24	2.18	2.07	1.99	1.87

Estos valores se han tomado de la obra de Snecdor, *Statistical Methods*.

4.2- Diseño de Bloques Completos al Azar (B.C.A)

Introducción

Una ampliación de los principios expresados en los capítulos anteriores y de uso bastante común en los ensayos de campo, es el Diseño conocido como **Bloques Completos al Azar (B.C.A)**, este es uno de los diseños más ampliamente usados en la experimentación agropecuaria.

*Este se caracteriza por que se establece en bloques de igual tamaño, cada uno de estos bloques contiene un grupo completo de todos los tratamientos en estudio, es por eso que el área experimental en que se va a realizar el ensayo se divide en tantos bloques, repeticiones o réplicas del mismo tamaño y forma como tratamientos se quieren estudiar. Si hay “t” tratamientos y “r” repeticiones, habrá “r” bloques con “t” parcelas en cada bloque, dando un total de “tr” parcelas en el experimento. El termino **bloque** es adecuado utilizar para evitar confusión con el termino **repeticiones** utilizados en los DCA.*

En cuanto al número de repeticiones a establecer en determinado experimento de campo, por su complejidad, no hay reglas sencillas pues esto va estar en dependencia los recursos disponibles, la variabilidad de las unidades experimentales, la naturaleza de los tratamientos en estudio, la magnitud del efecto a detectar como significativo, la importancia relativa de las diferentes comparaciones, etc. (Mead, 1988).

La distribución de los tratamientos en los BCA es la de más uso en el diseño de experimentos y tiene grandes ventajas cuando el número de tratamientos no excede los 15 y cuando es posible agrupar las unidades experimentales en estratos o bloques uniformes, de tal manera que **la variabilidad entre las unidades experimentales sea mínima, aun cuando la variación entre bloques sea alta.** En general el número de tratamientos por bloque debe ser el menor posible, sin embargo debe ser suficiente para lograr los objetivos del experimento, cuando el tamaño del bloque aumenta como consecuencia de un gran número de tratamientos, se incrementará la variabilidad aleatoria dentro de los bloques.

El diseño de BCA se utiliza normalmente en experimentos agrícolas, de pastos, forrajes, leguminosas, donde se establece un ensayo en campo.

Se debe procurar conocer el gradiente de variación del suelo, pues permite formar los bloques perpendiculares a la dirección del gradiente de variación, el sentido en que esta gradiente de fertilidad se puede determinar por la observación de campo o por medio de los ensayos en blanco.

La flexibilidad de los BCA, es tal que si se pierde una repetición o bloque, se pueden utilizar los resultados de los demás bloques, si los datos de un bloque son ilógicos por un mal manejo (errores vulgares) o por que el bloque está en un lugar

excepcional, en resumen los resultados parezcan fuera de lo esperado conforme un razonamiento agronómico/técnico, dichos datos deben desecharse y utilizar los valores de aquellos bloques que se consideren con una variación razonable y lógicos.

Definición de los BCA

Un Diseño de **Bloques Completos al Azar (B.C.A)**, es aquel en que las U.E se distribuyen en grupos, de tal manera que las U E dentro de un bloque o grupo sean relativamente homogéneas; dentro de cada bloque cada tratamiento es asignado al azar, usualmente una vez cada tratamiento en cada uno de los bloques.

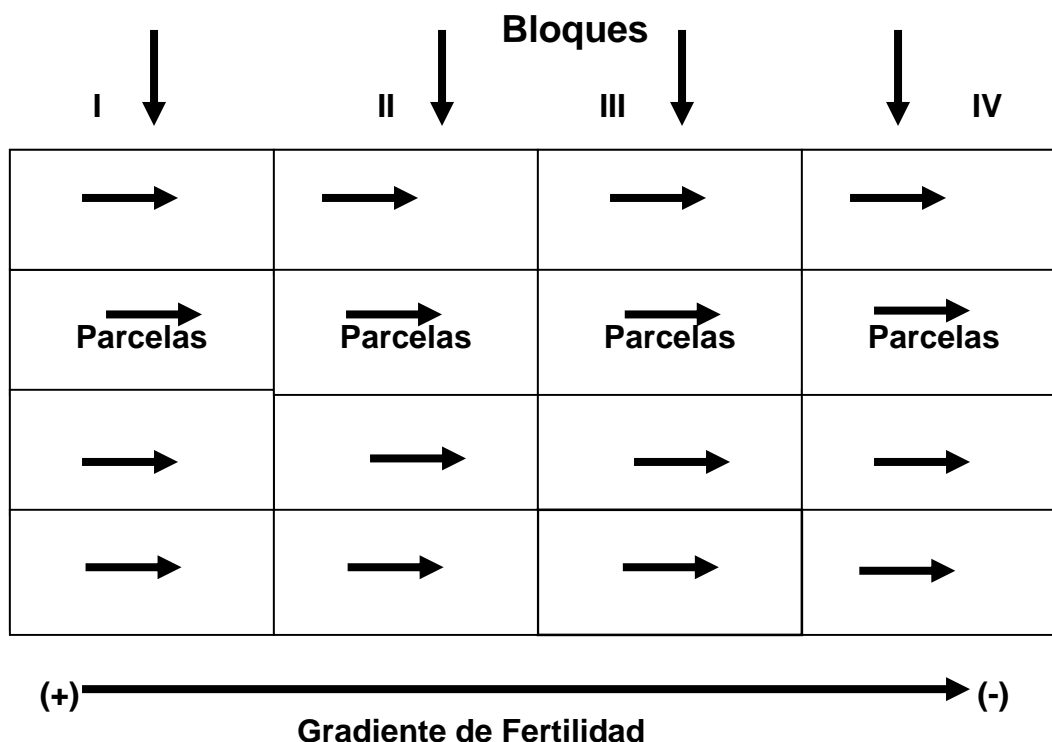
El propósito fundamental de los BCA es reducir, tanto como sea posible la heterogeneidad entre parcelas dentro de cada bloque, un bloqueo apropiado incrementa las diferencias entre bloques mientras las parcelas dentro de cada bloque son más homogéneas entre sí.

El minimizar la variabilidad aleatoria entre UE dentro de un mismo bloque y maximizar las diferencias entre bloques determina el efecto significativo de bloque y esto es precisamente lo que permite reducir el error experimental, por tanto, si no hay diferencias entre los bloques, este diseño no contribuirá a mejorar la precisión de los datos experimentales obtenidos.

Criterios a cerca de la disposición de las parcelas en campo

En experimentos de carácter zootécnicos, aunque casi nunca se usan los BCA, los animales se agrupan en bloques basados en características como edad, peso, raza, sexo, galerón, granja, etc. Sin embargo en donde más se usan los BCA es en experimentos agrícolas (cultivos, pastos, etc.), aquí los bloques normalmente se mantienen compactos en forma rectangular. No es necesario que cada bloque sea de la misma forma, aunque es lo deseable para disminuir la variabilidad aleatoria dentro del bloque, en general cuando evidencias prácticas proveen un gradiente de variación seguido en el área experimental (fertilidad, color del suelo, humedad, malezas, etc.), los bloques deben orientarse perpendicularmente a la gradiente de variación y las parcelas dentro del bloque deben disponerse paralelamente a la gradiente, esta disposición de los bloques permite captar la variación debida a la heterogeneidad del suelo y mejorar la precisión de los datos experimentales.

Una disposición adecuada de los bloques se muestra en el siguiente esquema:



Algunas reglas sencillas para decidir sobre la correcta disposición de los bloques en el campo:

- 1- Cuando el patrón de fertilidad del lote experimental es conocido, los bloques deben orientarse de tal forma que las diferencias del suelo entre bloques sean maximizadas y aquellas diferencias dentro de los bloques sean minimizadas, para un lote con gradiente de fertilidad unidireccional (un solo sentido), los bloques a usar deben ser alargados y angostos, así como deben orientados de tal forma que su longitud esté perpendicularmente a la gradiente de fertilidad del suelo.
- 2- Cuando un gradiente de fertilidad ocurre en dos direcciones, con una dirección perpendicular a la otra, se debe usar un diseño de cuadrado latino, sin embargo si se va a usar un BCA se recomienda que los boques sean más o menos cuadrados.
- 3- Cuando el patrón de fertilidad no es conocido o cuando la gradiente de fertilidad es errática, entonces se recomienda que los bloques sean cuadrados.

Consideraciones técnicas y prácticas para la aplicación del diseño BCA

Reyes Castañeda (1982) señala algunas recomendaciones prácticas para utilizar los BCA, estas son:

- Cuando el número de tratamientos es de 3 a 15
- Cuando se conoce el gradiente de la variabilidad del suelo, en cuyo caso los bloques deben orientarse perpendicularmente al gradiente de variabilidad y las unidades experimentales deben tener su mayor dimensión en la misma dirección y sentido que dicho gradiente.

En relación al manejo de los bloques, en general se recomienda para los diferentes tratamientos asignados, que las parcelas dentro de cada bloque sean manejadas tan uniformes como sea posible, la recolección de datos y todas las prácticas del manejo del cultivo (riegos, control de malezas, control de plagas y enfermedades, fertilización, aporques, etc.) deben realizarse al mismo tiempo y tan uniformemente como sea posible, excepto los tratamientos a evaluar, que es lo único que ha de variar en el manejo del ensayo.

Por ejemplo si la aplicación de insecticidas o la cosecha de un lote experimental debe realizarse en varios días, entonces todas las parcelas en un bloque deberían ser aplicadas o cosechadas el mismo día, es deseable que una misma persona haga todas las observaciones en todas las parcelas de todos los bloques, pero si no es posible, entonces lo mejor es que diferentes personas sean asignadas a diferentes bloques.

Ventajas de los BCA

- 1- Permiten obtener resultados más precisos que en el DCA, debido a la remoción de la variabilidad entre repeticiones, que es una fuente de variación que no puede removerse si no hay repeticiones compactas
- 2- Permite flexibilidad completa, puede usarse cualquier número de tratamientos y de repeticiones, entre más grandes sean las repeticiones, por la inclusión de un gran número de tratamientos, se corre el riesgo de aumentar la heterogeneidad dentro de las repeticiones.
- 3- Si algunos de los tratamientos se pierden o se rechazan, el análisis sigue siendo sencillo, la pérdida relativa de información debida a los datos faltantes es de menos importancia que en cualquier diseño, sin embargo si las parcelas perdidas son muchas el diseño es menos conveniente.

Desventajas de los BCA

- No es apropiado cuando el número de tratamientos pasa de 15 por que aumenta la variación aleatoria dentro de cada bloque.

-No es aconsejable cuando hay alta variabilidad en el material experimental.

- Cuando los niveles de la fuente de variación en base a la cual se ordenan los bloques no tienen efecto sobre los resultados del experimento, no hay ganancia en la precisión de los datos, si no pérdida, por la disminución de los grados de libertad del error experimental.

Proceso de aleatorización del diseño de BCA

El proceso de azarización o aleatorización es una característica que define un diseño, es decir, para cada diseño existe un proceso de azarización en particular.

Para usar la distribución en bloques al azar se deben realizar los siguientes pasos:

- 1- Dividir el lote experimental o lugar donde se llevará a cabo el experimento en bloques, el número de bloques es igual al número de repeticiones.
- 2- Dividir cada bloque en tantas unidades experimentales como tratamientos se desean estudiar, cada tratamiento debe aparecer una vez en cada bloque.
- 3- Dentro de cada bloque, azarizar independientemente los tratamientos, este procedimiento se repite independientemente para cada uno de los bloques.

La aleatorización de los tratamientos dentro de cada bloque, se lleva a cabo mediante la tabla de números aleatorios o con otros métodos de sorteo.

El Modelo Aditivo Lineal (MAL) para un BCA

Si se tuvieran muestras de “t” poblaciones con diferentes medias, pero varianzas comunes, agrupadas de modo que las parcelas vecinas que contienen tales muestras tiendan a reflejar un comportamiento similar entre sí, la composición de una observación cualquiera estaría dada por el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + B_j + \epsilon_{ij} \dots \text{ Dónde:}$$

i= 1, 2, 3.....t tratamientos

j= 1, 2, 3..... r repeticiones

Y_{ij} = la j- esima observación del i-esimo tratamiento

μ = media poblacional a estimar a partir de los datos del experimento

t_i = efecto del i-esimo tratamiento a estimar a partir de los datos del experimento

B_j = efecto debido al j-esimo bloque

ϵ_{ij} = efecto aleatorio de variación (error experimental)

Ho: $\sum t_i = 0$, si Ho es cierta, no existe efecto real de los tratamientos

Ho: $\sum B_j = 0$, si Ho es cierta, no hay efecto entre bloques

Ha: $\sum t_i \neq 0$, existe efecto real de los tratamientos, o sea al menos un par de tratamientos difieren estadísticamente entre si al nivel de probabilidad deseado (5% y 1%).

Tabla #1. Generalización de los datos para un BCA

Tratamientos	Bloques					Medias $\bar{Y}_{1.}$
	I	II	III	IV	Totales $Y_{i.}$	
T1	Y11	Y12	Y13	Y14	Y1.	$\bar{Y}_{1.}$
T2	Y21	Y22	Y23	Y24	Y2.	$\bar{Y}_{2.}$
T3	Y31	Y32	Y33	Y34	Y3.	$\bar{Y}_{3.}$
T4	Y41	Y42	Y43	Y44	Y4.	$\bar{Y}_{4.}$
T5	Y51	Y52	Y53	Y54	Y5.	$\bar{Y}_{5.}$
T6	Y61	Y62	Y63	Y64	Y6.	$\bar{Y}_{6.}$
T7	Y71	Y72	Y73	Y74	Y7.	$\bar{Y}_{7.}$
Totales (Y. j)	Y.1	Y.2	Y.3	Y.4	Y..	$\bar{Y}_{..}$

Ahora conozcamos las ecuaciones para el cálculo de las sumas de cuadrados.

5. Factor de corrección

$$FC = \frac{(Y_{..})^2}{rt}$$

6. Suma de cuadrado total

$$SC_{total} = \sum \sum Y^2_{ij} - FC$$

7. Suma de cuadrado de los tratamientos

$$SC_{trat} = \frac{\sum Y^2_{i.}}{r} - FC$$

8. Suma de cuadrados de los bloques

$$SC \text{ Bloques} = \frac{\sum Y^2 \cdot j}{t} - FC$$

9. suma de cuadrado del error

$$SC \text{ error} = Sc \text{ total} - SC \text{ trat} - SC \text{ Bloques}$$

Tabla # 1.2. Análisis de varianza para (el nombre de la variable)

F de V	SC	GI	CM	Fc	Ft (5 y 1%)
Entre tratamientos	SC Trat	t-1	SCET / t-1	CMET/ CME	Se busca en la tabla de F
Entre bloques	SC Bloq	r-1	SCDT / t(n-1)	CM bloq/CME	
Error	SC error	gltotal - gltrat - glbloq	SC error/gle		
Total	SCTotal	(tn)-1			

Ilustración del procedimiento para realizar el ANDEVA para un BCA

Se estableció un ensayo de campo en BCA, en una estación experimental para determinar el potencial agronómico de 5 variedades de tomate industrial, en la siguiente tabla se muestran los datos correspondientes al diámetro de los frutos de tomate (Aleman, 1991).

Tabla 2. Diámetro de los frutos (en cms) obtenidos para diferentes variedades de tomate industrial

Variedades	Bloques					\overline{Y}_1 Medias
	I	II	III	IV	Totales (Yi.)	
Martí	6.64	6.59	6.33	5.80	25.36	6.34
Topacio	7.37	6.21	6.19	6.39	26.16	6.54
Estela	6.87	7.03	6.53	6.66	27.09	6.77
VF-134	5.79	5.49	5.54	5.91	22.73	5.68
UC-82	5.19	5.48	5.42	5.46	21.55	5.38
Totales (Y. j)	31.86	30.80	30.01	30.22	122.89	6.14

Descripción del MAL para el experimento

$$Y_{ij} = \mu + t_i + B_j + \epsilon_{ij} \dots \text{Dónde:}$$

i= 1, 2, 3.....t =5 Tratamientos, son las 5 variedades de tomate.

j= 1, 2, 3..... r =4 Repeticiones, son los 4 bloques.

Y_{ij} = Es el dato del diámetro (en cm) para cada una de las variedades de tomate, es decir representa la j-esima observación del diámetro registrado en la i-esima variedad evaluada.

μ = Es la verdadera media poblacional del diámetro de las variedades de tomate.

t_i = Efecto o influencia de la i-esima variedad de tomate sobre el diámetro registrado.

B_j = Efecto debido al j-esimo bloque.

ϵ_{ij} = Efecto aleatorio de variación generado en el experimento (error experimental).

Establecer hipótesis correspondiente

$H_0: \sum t_i = 0$, Si H_0 es cierta, todos los tratamientos son iguales entre sí (o sea que los diámetros de las variedades de tomate no difieren estadísticamente entre sí)

$H_0: \sum B_j = 0$, Si H_0 es cierta, no hay efecto entre bloques.

$H_a: \sum t_i \neq 0$, existe efecto real de los tratamientos, o sea que el diámetro de al menos un par de las 5 variedades difieren estadísticamente entre sí al nivel de probabilidad deseado (5% y 1%).

Cálculo de las sumas de cuadrados correspondientes

Factor de corrección

$$FC = \frac{(Y_{..})^2}{rt}$$

$$FC = \frac{(122.89)^2}{4 \cdot 5} = \frac{15,101.95}{20} = 755.09. \text{ Entonces } FC = 755.09$$

Suma de cuadrado total

$$SC_{total} = \sum \sum Y^2_{ij} - FC$$

$$SC_{total} = [(6.64)^2 + (6.59)^2 + (6.33)^2 + (5.80)^2 + (7.37)^2 + (6.21)^2 + (6.19)^2 + (6.39)^2 + (6.97)^2 + (7.03)^2 + (6.53)^2 + (6.66)^2 + (5.79)^2 + (5.49)^2 + (5.54)^2 + (5.91)^2 + (5.19)^2 + (5.48)^2 + (5.42)^2 + (5.46)^2] - 755.09$$

$$SC_{total} = 762.31 - 755.09 = 7.21$$

$$SC_{total} = 7.21$$

Suma de cuadrado de los tratamientos

$$SC\ trat = \frac{\Sigma Y^2 i.}{r} - FC$$

$$SC\ trat = \frac{(25.36)^2 + (26.16)^2 + (27.09)^2 + (22.73)^2 + (21.55)^2}{4} - 755.09$$

$$SC\ trat = \frac{3,042.39}{4} - 755.09, \text{ esto es } 760.60 - 755.09 = 5.50$$

$$SC\ trat = 5.50$$

Suma de cuadrados de los bloques

$$SC\ Bloques = \frac{\Sigma Y^2 .j}{t} - FC$$

$$SC\ Bloq = \frac{(31.86)^2 + (30.80)^2 + (30.01)^2 + (30.22)^2}{5} - 755.09$$

$$SC\ Bloq = \frac{3,777.55}{5} - 755.09, \text{ esto es } 755.51 - 755.09 = 0.41$$

$$SC\ Bloq = 0.41$$

Suma de cuadrado del error

$$SC\ error = Sc\ total - SC\ trat - SC\ Bloques$$

$$SC\ error = 7.21 - 5.50 - 0.41 = 1.30$$

$$SC\ error = 1.30$$

Ahora procedemos a estructurar la tabla del ANDEVA

Tabla 3. Análisis de varianza del diámetro (cm) del fruto de 5 variedades de tomate industrial

F de V	S C	Gl	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Entre tratamientos	5.50	4	1.37	13.7**	3.26	5.41
Entre bloques	0.41	3	0.13	1.3 NS	3.49	5.95
Error	1.30	12	0.10			
Total	7.21	19				
CV= 5 %						

Para el cálculo de los grados de libertad se procede así:

$$glet = t - 1 \quad \text{Esto es } 5 - 1 = 4$$

$$glebloq = r - 1, \quad \text{esto es } 4 - 1 = 3$$

$$gltotal = t * r - 1 = 5 (4) - 1 = 20 - 1 = 19$$

$$gldt(error) = gltotal - gltrat - glbloq, \quad \text{esto es } 19 - 4 - 3 = 12$$

$$CMET = SCtrat / glet, \text{ esto es } 5.50 / 4 = 1.37$$

$$CMBloq = SCbloq / glebloq, \text{ esto es } 0.41 / 3 = 0.13$$

$$CMerror = SCerror / glerror, \text{ esto es } 1.30 / 12 = 0.10$$

$$Fc \text{ trat} = CMET / CME, \text{ esto es } 1.37 / 0.10 = 13.7$$

$$Fc \text{ bloq} = CMBloq / CME, \text{ esto es } 0.13 / 0.10 = 1.3$$

La Ft (F tabulada) se encuentra en la tabla de F.

Para hallar los valores de Ft según los niveles de significancia se busca en la tabla de F, primero la Ft de los tratamientos al 5% y al 1% con los grados de libertad de los tratamientos como numerador, en este caso 4 y los grados de libertad del error como denominador, en este caso 12, entonces los valores el valor de Ft al 5% es 3.26 y al 1% es 5.41.

Luego de igual manera buscamos los valores de Ft para los bloques, en este caso son 3 grados de libertad para el numerador y 12 grados de libertad para el denominador, el valor de Ft para los bloques al 5% es 3.49 y al 1% es 5.95.

El Coeficiente de Variación (CV) se calcula así:

$$CV = \frac{\sqrt{CME}}{\text{Promedio } (Yi.)} * 100$$

$$CV = \frac{0.31}{6.14} * 100 \quad CV = \frac{\sqrt{0.10}}{6.14} * 100$$

Entonces

$$CV = 0.05 * 100 = 5\%$$

CV= 5 %, Recordá que el CV se debe expresar en %.

Si $F_c > F_t$, aceptamos H_a y rechazamos la H_o , o sea que hay diferencia significativa (95%) o altamente significativa (99%) en al menos un par de los tratamientos evaluados (Esta F_c y F_t son las de los tratamientos).

Conclusión

El Análisis de varianza para la variable diámetro de frutos de tomate, nos demuestra con un 99% de confianza que al menos un par de las 5 variedades evaluadas muestran diferencias altamente significativas en los promedios de sus diámetros, esto nos conduce a rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa.

Ilustración del procedimiento estadístico para realizar el ANDEVA de un experimento bifactorial establecido en un BCA

Se estableció un experimento para determinar el efecto de 3 densidades de siembra y 3 niveles de Nitrógeno sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento en Chilotes en el cultivo de Maíz (*Zea mays*). En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos, a continuación se te describen los factores en estudio.

Factor A:

Son las densidades de siembra

a1 = 136,000 plantas/ha

a2 = 90,750 plantas/ha

a3 = 68,600 plantas/ha

Factor B:

Niveles de fertilización con Nitrógeno

b1= 50Kg de N/ha

b2= 75Kg de N/ha

b3= 100Kg de N/ha

En estos tipos de ensayos los tratamientos son la combinación de los factores (**a*b**), en este caso los tratamientos serán **3** densidades de siembra * **3** niveles de fertilización nitrogenada, lo que nos da **9** tratamientos, estos quedan así:

a1b1= maíz sembrado a razón de 136,000 plantas/ha y aplicándole 50Kg de N/ha

a1b2= maíz sembrado a razón de 136,000 plantas/ha y aplicándole 75Kg de N/ha

a1b3= maíz sembrado a razón de 136,000 plantas/ha y aplicándole 100Kg de N/ha

a2b1= maíz sembrado a razón de 90,750 plantas/ha y aplicándole 50Kg de N/ha

a2b2= maíz sembrado a razón de 90,750 plantas/ha y aplicándole 75Kg de N/ha

a2b3= maíz sembrado a razón de 90,750 plantas/ha y aplicándole 100Kg de N/ha

a3b1= maíz sembrado a razón de 68,600 plantas/ha y aplicándole 50Kg de N/ha

a3b2= maíz sembrado a razón de 68,600 plantas/ha y aplicándole 75Kg de N/ha

a3b3= maíz sembrado a razón de 68,600 plantas/ha y aplicándole 100Kg de N/ha

Tabla 4. Datos de rendimiento total de chilotes (Kg/pu) cosechados bajo tres distancias de siembra y tres niveles de fertilización nitrogenada

Tratamientos	Bloques				Totales Y _{ij.}	Medias Y _{ij.}
	I	II	III	IV		
a1b1	4.15	7.90	5.50	3.50	21.05	5.26
a1b2	6.00	8.65	5.00	5.50	25.15	6.29
a1b3	8.25	8.95	8.60	8.40	34.20	8.55
a2b1	7.00	7.30	3.00	3.70	21.00	5.25
a2b2	7.35	7.70	4.70	5.10	24.85	6.21
a2b3	8.50	8.10	8.45	8.10	33.15	8.29
a3b1	5.70	8.90	11.10	5.50	31.20	7.80
a3b2	8.60	8.50	8.25	8.70	34.05	8.51
a3b3	9.85	9.30	8.80	8.40	36.35	9.09
Totales (Y..K)	65.40	75.30	63.40	56.90	261.00	7.25

Descripción del MAL, para los factores distribuidos en BCA.

$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + p_k + \epsilon_{ijk}$ donde:

i= 1, 2, 3..... a niveles de factor A (densidades de siembra)

j= 1, 2, 3, 4..... b niveles del factor B (niveles de fertilización nitrogenada)

k= 1, 2, 3..... r repeticiones o bloques.

Y_{ijk}= es la k-esima observación del rendimiento del i-esimo tratamiento

μ = es la verdadera media poblacional a estimar a partir de los datos del experimento.

α_i = efecto del i-esimo nivel del factor A (densidades de siembra) a estimar a partir de los datos del experimento.

β_j = efecto debido al j-esimo nivel del factor B (niveles de fertilización nitrogenada) a partir de los datos del experimento.

$(\alpha\beta)_{ij}$ =efecto de la interacción entre los factores A y B (densidades de siembra * niveles de fertilización nitrogenada)

p_k= efecto del K-esimo bloque

ϵ_{ijk} = es el elemento aleatorio de variación generado en el experimento (error experimental).

Hipótesis

$\sum \alpha_i = 0$ vs (versus) algún par de densidades de siembra ejerce algún efecto significativo sobre el rendimiento de chilotes obtenidos.

$\sum \beta_j = 0$ vs algún par de niveles de fertilización nitrogenada ejerce un efecto significativo sobre el rendimiento de chilotes obtenidos.

$\sum (\alpha\beta)_{ij} = 0$ vs existe efecto significativo de la interacción (densidades de siembra * niveles de fertilización nitrogenada) sobre el rendimiento de chilotes.

Cálculos para el Andeva

Factor de corrección

$$FC = \frac{(Y_{...})^2}{abr}$$

Donde **a=3** densidades de siembra, **b=3** niveles de fertilización nitrogenada, **r = 4** réplicas

$$FC = \frac{(261.00)^2}{3 \cdot 3 \cdot 4}, \text{ esto es } \frac{68,121}{36} = 1892$$

$$FC = 1,892.25$$

$$SC_{total} = \sum Y_{ijk}^2 - FC$$

$$\begin{aligned} SC_{total} = & (4.15)^2 + (7.9)^2 + (5.5)^2 + (3.5)^2 + (6)^2 + (8.65)^2 + (5)^2 + (5.5)^2 + (8.25)^2 \\ & + (8.95)^2 + (8.6)^2 + (8.4)^2 + (7)^2 + (7.3)^2 + (3)^2 + (3.7)^2 + (7.35)^2 + (7.7)^2 \\ & + (4.7)^2 + (5.1)^2 + (8.5)^2 + (8.1)^2 + (8.45)^2 + (8.1)^2 + (5.7)^2 + (8.9)^2 \\ & + (11.1)^2 + (5.5)^2 + (8.6)^2 + (8.5)^2 + (8.25)^2 + (8.7)^2 + (9.85)^2 + (9.3)^2 \\ & + (8.8)^2 + (8.4)^2 - 1,892 \end{aligned}$$

$$SC_{total} = 2,028.68 - 1,892 = 136.43$$

$$SC_{total} = 136.43$$

$$SC\ bloq = \frac{\Sigma Y.. k^2}{ab} - FC$$

$$SCbloq = \frac{(65.4)^2 + (75.3)^2 + (63.4)^2 + (56.9)^2}{3 \cdot 3} - 1,892, \text{ esto es } \frac{17,204.42}{9} - 1,892$$

$$SCbloq = 1911.42 - 1892 = 19.35, \text{ entonces } \mathbf{SC\ bloq = 19.35}$$

Para el cálculo de las sumas de los cuadrados de los factores, se recomienda elaborar una tabla de doble entrada.

Cuadro 5. Totales e interacciones

Factor /nivel		A			Total (Y.j.)
		a1	a2	a3	
B	b1	21.05	21.00	31.20	73.25
	b2	25.15	24.85	34.05	84.05
	b3	34.20	33.15	36.35	103.70
Total (Yi..)		80.40	79.00	101.60	261.00

$$SCA\ (densidades) = \frac{\Sigma Y..^2}{br} - FC$$

$$SCA\ (den) = \frac{(80.40)^2 + (79.00)^2 + (101.60)^2}{3 \cdot 4} - 1,892, \text{ esto es } \frac{23,027}{12} - 1892$$

$$SCA\ (den) = 1,918.98 - 1892 = \mathbf{26.73}$$

$$\mathbf{SCA\ (den) = 26.73}$$

$$SCB\ (niveles\ de\ fertilización\ con\ nitrógeno) = \frac{\Sigma Y.j.^2}{ar} - FC$$

$$SCB\ (niv.\ fert) = \frac{(73.25)^2 + (84.05)^2 + (103.70)^2}{3 \cdot 4} - 1,892$$

$$SCB\ (niv.\ fert) = \frac{23,183.655}{12} - 1,892$$

$$SCB\ (niv.\ fert) = 1931.97 - 1,892 = \mathbf{39.72}$$

$$\mathbf{SCB\ (niv.\ fert) = 39.72}$$

$$SC A * B (dens * niv. fert.) = \frac{\Sigma Y_{ij}^2}{r} - FC - SCA - SCB$$

$$SCA*B (dens*niv. fert.) = \frac{(21.05)^2 + (21)^2 + (31.2)^2 + (25.15)^2 + (24.85)^2 + (34.05)^2 + (34.2)^2 + (33.15)^2 + (36.35)^2}{4} - 1892 - 26.73 - 39.72$$

$$SCA*B (dens*niv. fert.) = \frac{7856.87}{4} - 1892 - 26.73 - 39.72$$

$$SCA*B (dens*niv. fert.) = 1964.22 - 1892 - 26.73 - 39.72 = \mathbf{5.52}$$

$$SCA*B (dens*niv. Fert.) = \mathbf{5.52}$$

$$Sc \text{ error} = Sctotal - SCBloq - SCA - SCB - SCA*B$$

$$SC \text{ error} = 136.43 - 19.35 - 26.73 - 39.72 - 5.52 = \mathbf{45.11}$$

$$SC \text{ error} = \mathbf{45.11}$$

Ahora procedemos con la tabla del ANDEVA.

Tabla 6. Análisis de Varianza para el rendimiento de chilotes (Kg/pu) bajo tres densidades de siembra y tres niveles de fertilización nitrogenada

F de V	SC	GI	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Densidades	26.73	2	13.36	7.10**	3.40	5.61
Niv. Fert.	39.72	2	19.86	10.56**	3.40	5.61
Dens*niv fert	5.52	4	1.38	0.73 NS	2.78	4.22
bloques	19.35	3	6.45	3.43*	3.01	4.72
error	45.11	24	1.88			
Total	136.43	35				
CV= 19%						

NS= Significa que no existe efecto significativo.

$$Gltotal = A*B*r-1, \text{ esto es } \mathbf{Gltotal = 3 \times 3 \times 4 - 1 = 36 - 1 = 35}$$

$$GI (\text{densidades de siembra o sea factor A}) = \text{densid}-1, \text{ gl (dens)} = 3-1=2,$$

$$\text{Entonces, } \mathbf{gl (\text{densidades}) = 2}$$

$$GI (\text{niveles de fertilizas sem o sea factor B}) = \text{niv. fert}-1, \text{ gl (niv fert)} = 3-1=2,$$

$$\text{Entonces, } \mathbf{gl (\text{niv. fert}) = 2}$$

Grados de libertad de A*B, o sea densidades * niveles de fertilización es el producto de los grados de libertad de las densidades de siembra por los niveles de fertilización

$$Gl (A*B) = (A-1) (B-1)$$

$$Gl (A*B) = (3-1) (3-1) = (2) (2) = 4$$

$$Gl bloq = Bloques - 1, \text{ esto es, } Gl bloq = 4-1 = 3$$

$$Gl bloques = 3$$

$$Gle = gl_{total} - gl_{densid} - gl_{niv fert} - gl_{A*B} - gl_{bloq}.$$

$$Gle = 35-2-2-4-3 = 24$$

$$Gle = 24$$

$$CME_{densid} = SC_{den}/gld_{den}, \text{ esto es } CME_{den} = 26.73/2 = 13.36$$

$$CM_{niv fert} = SC_{niv fert}/glniv fert, \text{ esto es } CM_{niv fert} = 39.72 / 2 = 19.86$$

$$CM_{dens*niv fert} = SC_{dens*niv fert}/gld_{den}*niv fert$$

$$CM_{dens*niv fert} = 5.52/4 = 1.38$$

$$CM_{bloq} = SC_{bloq}/gl_{bloq}, \text{ esto es, } CM_{bloq} = 19.35/3 = 6.45$$

$$CME = SC_{error}/gle, \text{ esto es } CME = 45.11/24 = 1.88$$

$$Fc(den) = CM_{den}/CME, \text{ esto es } Fc(den) = 13.36 / 1.88 = 7.10$$

$$Fc(niv fert) = CM_{niv fert}/CME, \text{ esto es } Fc(niv fert) = 19.86 / 1.88 = 10.56$$

$$Fc(den*niv fert) = CM_{dens*niv fert}/CME, \text{ esto es, } Fc(den*niv fert) = 1.38/1.88 = 0.73$$

$$Fc(bloq) = CM_{bloq}/CME, \text{ esto es, } Fc(bloq) = 6.45/1.88 = 3.43$$

Cálculo del Coeficiente de variación

$$CV = \frac{\sqrt{CME}}{X \text{ (prom)}} * 100$$

$$CV = \frac{\sqrt{1.88}}{7.25} * 100$$

$$CV = \frac{1.37}{7.25} * 100; \text{ esto es } 0.189 * 100 = 18.9\% \approx 19\%$$

CV= 19%

Para hallar los valores de Ft (al 5% y 1%) para las densidades de siembra se buscan estos en la tabla de F, primero se busca **Ft para las densidades al 5% (0.05) y 1% (0.01)**, los gl densidades (2) se ubican como numerador en la tabla y los grados de libertad del error (24) se ubican como denominador y el valor de ft al 5% es de 3.40 y al 1% es de 5.61.

Para hallar los valores de Ft (al 5% y 1%) de los niveles de fertilización se buscan estos en la tabla de F, primero se busca **Ft para los niveles de fertilización al 5% (0.05) y 1% (0.01)**, los gl de los niveles de fertilización (2) se ubican como numerador en la tabla y los grados de libertad del error (24) se ubican como denominador y el valor de ft al 5% es de 3.40 y al 1% es de 5.61.

Para hallar los valores de Ft (al 5% y 1%) de las densidades*niveles de fertilización se buscan estos en la tabla de F, primero se busca **Ft para la interacción (den*niv fert) al 5% (0.05) y 1% (0.01)**, los gl densidades * niveles de fertilización (4) se ubican como numerador en la tabla y los grados de libertad del error (24) se ubican como denominador y el valor de ft al 5% es de 2.78 y al 1% es de 4.22

Y finalmente para hallar los valores de Ft (al 5% y 1%) de los bloques, se buscan estos en la tabla de F, primero se busca Ft para los bloques al 5% (0.05) y 1% (0.01), los grados de libertad de los bloques (3) se ubican como numerador en la tabla y los grados de libertad del error (24) se ubican como denominador, el valor de Ft al 5% para los bloques es 3.01 y al 1% es 4.72.

Conclusiones

El ANDEVA demuestra que existen diferencias estadísticas altamente significativas (99% de confianza) sobre el rendimiento de chilotes por efectos de las diferentes densidades de siembra (número de plantas/ha).

En cuanto a los niveles de fertilización nitrogenada, el ANDEVA nos demuestra con un 99% de confianza que existen efectos altamente significativos sobre el

rendimiento de chilotes debido a los niveles de fertilización aplicados al cultivo de maíz.

Por otro lado el ANDEVA demuestra con un 99% de confianza que no existen diferencias significativas reales sobre el rendimiento obtenido por efecto de la interacción de los factores densidades de siembra y niveles de fertilización de nitrógeno, lo que evidencia que el efecto de los factores es independiente entre sí, de modo que sólo se debe considerar el efecto de cada factor por separado, se debe concluir que una densidad de siembra es mejor que otra y que un nivel de fertilización nitrogenada es mejor que los otros, sin estudiar a profundidad cómo se comportaría cada densidad con los diferentes niveles de fertilización nitrogenada o viceversa.

Por otro lado, el bloqueo utilizado contribuyó a mejorar la precisión experimental, este a su vez refleja la precisión de los datos, esto lo soporta el CV (18.90%), por lo que se reduce la variabilidad aleatoria correspondiente a las diferencias en la heterogeneidad del suelo entre grupos de parcelas, fue disminuido el error experimental total, lo que facilitó establecer el verdadero significado estadístico de los factores en estudio.

V unidad: Técnicas de Separación de Medias

El resultado del Análisis de Varianza (ANDEVA) solamente nos indica la igualdad o diferencias estadísticas entre los tratamientos examinados, dado que una prueba de F con más de un grado de libertad para el cuadrado medio de los tratamientos es un valor promedio obtenido a partir de las tantas comparaciones independientes como grados de libertad posean los tratamientos, el resultado obtenido de la prueba de F para los tratamientos refleja la homogeneidad relativa global de la variabilidad del conjunto de tratamientos en estudio y no especifica cual tratamiento difiere estadísticamente de los demás, de ahí que cuando se tienen varios tratamientos se presenta la necesidad de hacer comparaciones de las medias de los tratamientos, a fin de discriminar variables y clasificar los tratamientos para elegir el mejor si es necesario.

La prueba de F significativa indica realmente que la variabilidad entre los tratamientos no se debe al azar, si no a un efecto distinto de dichos tratamientos, lo cual es equivalente a indicar que las diferencias son significativas entre las medias de las poblaciones, estimadas por las medias de las muestras; sin embargo la prueba de F (o sea el ANDEVA) no indica cuales medias son iguales o cuales son diferentes estadísticamente, por lo tanto puede suceder que en una serie de tratamientos la prueba de F indique diferencias en el conjunto, pero eso no niega que un par de tratamientos en particular puedan ser iguales entre sí.

Por otra parte, cuando el resultado de la prueba de F conduce a aceptar la hipótesis nula, pareciera innecesario plantearse más preguntas, sin embargo, ya en esencia

los factores objeto de estudio representan materiales con propiedades que siempre ejercerán determinado efecto sobre los parámetros de los organismos vivos, al examinar los resultados obtenidos de un conjunto de tratamientos evaluados, la conclusión de aceptar la igualdad estadística de los tratamientos analizados parece ser una simplificación exagerada, pudiéramos preguntarnos ¿Alguna diferencia real entre un par de tratamientos pudo haberse enmascarado al promediarse con los otras posibles comparaciones?

Para resolver este problema con los datos del ANDEVA, se hacen las Pruebas de Significancia de las Diferencias entre las Medias de los tratamientos, denominadas como ***Técnicas de Separación de Medias***.

Existen varios métodos para la separación de medias, que se agrupan en dos tipos básicos:

- Pruebas A posteriori
- Pruebas A priori

Las pruebas a posteriori se clasifican a su vez en:

- a) Pruebas de Comparaciones Específicas (D.M.S y Dunnet).
- b) Pruebas de Rangos Múltiples (Duncan, Tukey, S.N.K).

Para fines prácticos nosotros abordaremos las más usuales.

Separación de Medias a través de la Diferencia Mínima Significativa (D.M.S)

Diferentes autores señalan que la DMS se aplica cuando la prueba de F realizada a los tratamientos es significativa, esta prueba se aplica cuando las comparaciones entre medias son independientes y se han planeado dichas comparaciones antes que los datos sean examinados, el número de comparaciones independientes (también llamados ortogonales), este tipo de comparación de medias es adecuada para comparar un tratamiento estándar con otros tratamientos, por ejemplo comparaciones de variedades de un cultivo con una variedad testigo. Se debe tener cuidado de no abusar del uso de la prueba de la DMS, la DMS es una forma particular de la prueba de “t” de Student

Usar indiscriminadamente la DMS para probar todas las posibles diferencias entre diversas medias conduce al error de determinar ciertas diferencias significativas que no tienen el nivel de significancia que hemos escogido.

La ecuación que se usa para aplicar la técnica de Separación de Medias a través de la DMS es:

$$DMS = t_{\alpha} ; g_{le} * Sd, \text{ esto es } DMS = t_{\alpha} ; g_{le} * \sqrt{2(CME) / r} \text{ donde.}$$

$$Sd = \sqrt{2S^2 / r}, \text{ esto es } Sd = \sqrt{2(CME) / r}$$

DMS= diferencia mínima significativa

t_α ; **g_{le}**= valor de t al nivel de significancia estadística probado (5% y 1%), este se obtiene de la tabla de t Student, se busca con los grados de libertad del error y el nivel de significancia deseado.

Sd= error Standard de la diferencia de las medias

S²= cuadrado medio del error (CME)

r = número de observaciones (para los DCA) y número de bloques o repeticiones (para los BCA).

Procedimiento para realizar las pruebas de la DMS

Reyes Castañeda (1982), establece que para hacer la prueba de la DMS se hacen comparaciones múltiples calculando una diferencia mínima significativa (DMS) común para el nivel de significancia deseado (este puede ser al 5% y 1%).

Con la intención de ejemplificar la separación de medias a través de una DMS, se te presenta a continuación la separación de medias para el ejemplo del experimento que se realizó para determinar el efecto de tres tipos de concentrados en la producción de carne en pollos de engorde (documento sobre DCA). La tabla de datos es esta.

Peso (Kg) final de pollos a las 6 semanas bajo tres tipos de concentrado

Tratamientos	Observaciones.					totales Yi.	Medias Yi.
	1	2	3	4	5		
Concentrado Tradicional	3.50	3.35	3.6	3.90	4.0	18.35	3.67
Concentrado Mejorado	3.90	4.1	4.2	3.85	4.0	20.05	4.01
Maíz+sorgo molido (testigo)	3.2	3.0	2.90	3.40	3.8	16.3	3.26
Totales (Y..)						54.7	10.94
Promedios						3.64	3.64

Recordá que el análisis de varianza para el caso quedó así:

Análisis de varianza para el peso final (Kg.) de pollos sometidos a tres tipos de concentrado.

F de V	SC	GI	CM	Fc	Ft	
					5 %	1%
Tratamientos	1.41	2	0.70	9.46**	3.88	6.93
Error	0.89	12	0.074			
Total	2.3	14				
CV= 7.47%						

El primer paso es determinar las medias de los tratamientos (ya se han calculado).

Luego calculamos la DMS para $\alpha = 5\%$ y 1%

$$\text{DMS} = t_{\alpha} ; g l e * S_d, \text{ o bien } \text{DMS} = t_{\alpha} ; g l e * \sqrt{2(CME) / r}$$

$$\text{DMS}_{0.05} = t_{0.05} 12 g l e * \sqrt{2(CME) / r}$$

$$\text{DMS}_{0.05} = 2.179 * \sqrt{2(0.074) / 5}, \quad \text{DMS}_{0.05} = (2.179) (0.172) = \mathbf{0.37}$$

$$\text{DMS}_{0.05} = \mathbf{0.37}$$

$$\text{DMS}_{0.01} = t_{0.01} 12 g l e * \sqrt{2(CME) / r}$$

$$\text{DMS}_{0.01} = 3.055 * \sqrt{2(0.074) / 5}, \quad \text{DMS}_{0.01} = (3.055) (0.172) = \mathbf{0.52}$$

$$\text{DMS}_{0.01} = \mathbf{0.52}$$

El siguiente paso es restar cada media de los tratamientos con respecto a la media del tratamiento testigo, luego el valor absoluto de la diferencia de estas medias se compara con los valores calculados de la DMS al 5% y 1%, **se recomienda ordenar las medias de los tratamientos de mayor a menor.**

Separación de medias para el peso final (Kg) de pollos sometidos a tres tipos de concentrado

Tratamientos	Medias	Diferencias de medias	Significancia estadística	Categoría estadística
Concentrado mejorado	4.01	0.75	**	a
Concentrado tradicional	3.67	0.41	*	a
Maíz + sorgo molido (testigo)	3.26			b
DMS_{0.05} = 0.37		DMS_{0.01} = 0.52		

Para definir si existe diferencia estadística altamente significativa (**), diferencia estadística simplemente (*) o no existe diferencia estadística significativa (NS), se comparan las diferencias de las medias con el valor de la DMS, si la diferencia entre las medias es mayor que la DMS al 5%, existe diferencia estadística significativa y se marca con un asterisco (*), si la diferencia entre medias es mayor que la DMS al 1%, existe diferencia altamente significativa y se marca con dos asteriscos (**), si la diferencias entre las medias son menores que la DMS al 5% y 1%, no existe diferencia significativa y se marca con NS.

Algunos autores acostumbran agrupar los tratamientos o sus medias en categorías o grupos estadísticos, para esto escriben letras a la par de las medias de los tratamientos, los tratamientos que tienen letras iguales, son estadísticamente iguales entre sí, los tratamientos con letras diferentes, son estadísticamente diferentes entre sí.

Si hacemos un análisis de esto, vale la pena recordar que el análisis de varianza nos había hecho concluir que existe efecto altamente significativo al menos en un par de los tres tipos de concentrado, con la separación de medias nos damos cuenta que existe diferencia altamente significativa entre el concentrado mejorado, con el testigo, esto lo afirmamos con un 99% de probabilidad, sin embargo el concentrado tradicional sólo difiere estadísticamente del testigo, esto es un 95% probable.

Ahora te voy a explicar la separación de medias para otro caso que ya habíamos resuelto, cuando analizamos los DCA, este es el experimento para determinar el efecto de diferentes herbicidas (post-emergentes, control manual y testigo), sobre el rendimiento de un pasto.

Rendimiento de pasto (Toneladas/ha) bajo diferentes tipos, dosis y tiempo de aplicación de diferentes herbicidas post-emergentes.

Tratamientos Herbicidas	Dosis Kg/ia/ha	Tiempo de aplicac. (DDS)	Rendimiento (ton/ha)					
			1	2	3	4	Totales Yi.	Medias Yi.
Propanil+bromaxynil	2/1.0	21	3.187	4.610	3.562	3.217	14.58	3.64
Propanil 2-4-D- Bee	3/1.0	28	3.390	2.875	2.775	--	9.04	3.01
Propanil Ioxynil	2/0.25	14	2.797	3.001	2.505	3.490	11.793	2.95
Propanil+bromaxynil	2/0.5	14	2.832	3.103	3.448	2.255	11.638	2.91
Propanil/CHCL	3/1.5	21	2.233	2.743	2.727	--	7.248	2.42
Phenyediphan	1.5	14	2.952	2.272	2.470	--	7.694	2.56
Propanil+bromaxynil	2/0.25	28	2.858	2.895	2.458	1.723	9.934	2.48
Propanil IPE	3/1.0	28	2.308	2.335	1.975	--	6.618	2.21
Propanil Ioxynil	2/0.5	28	2.013	1.788	2.248	2.115	8.164	2.04
Control manual (2 veces)	---	15 y 35	3.202	3.060	2.240	2.690	11.192	2.80
Testigo (sin control)	--	--	1.192	1.652	1.075	1.030	4.949	1.24
Totales.							102.85	28.26
Medias (Yi.)							2.57	2.57

Nota: Kg/ia/ha= kilogramos o litros de ingrediente activo por hectárea.

DDS= días después de la siembra.

Recordá que el análisis de varianza nos había quedado así:

ANDEVA para el rendimiento de pasto (x) con diferentes herbicidas post-emergentes en diferentes dosis y periodos después de la siembra

F de V	SC	GI	CM	Fc	Ft	
					5 %	1%
Tratamientos	15.15	10	1.51	8.88**	2.18	3.00
Error	5.11	29	0.17			
Total	20.26	39				
CV= 16 %						

Para realizar el ANDEVA calculamos las medias entre los tratamientos, procedemos a calcular la DMS.

Calculemos la DMS para $\alpha = 5\%$ y 1%

$$DMS = t_{\alpha} ; g_{le} * S_d, \text{ o bien } DMS = t_{\alpha} ; g_{le} * \sqrt{2(CME) / r}$$

$$DMS_{0.05} = t_{0.05} 29 g_{le} * \sqrt{2(CME) / r}$$

$$DMS_{0.05} = 2.045 * \sqrt{2(0.17) / 4}, \quad DMS_{0.05} = (2.045) (0.291) = \mathbf{0.59}$$

$$DMS_{0.05} = \mathbf{0.59}$$

$$DMS_{0.01} = t_{0.01} 29_{gle} * \sqrt{2(CME) / r}$$

$$DMS_{0.01} = 2.756 * \sqrt{2(0.17) / 4}, \quad DMS_{0.01} = (2.756) (0.291) = \mathbf{0.80}$$

$$DMS_{0.01} = \mathbf{0.80}$$

El siguiente paso es restar cada media de los tratamientos con respecto a la media del tratamiento testigo, luego el valor absoluto de la diferencia de estas medias se compara con los valores calculados de la DMS al 5% y 1%.

Para esto agrupamos las medias de los tratamientos en una tabla como la siguiente.

Separación de medias para el rendimiento de pasto (x) con diferentes herbicidas post-emergentes en diferentes dosis y periodos después de la siembra

Tratamientos	Medias	Diferencia de medias	Significancia estadística	Categoría estadística
Propanil+bromaxynil (21 días)	3.64	2.40	**	a
Propanil 2-4-D- Bee (28 días)	3.01	1.77	**	a
Propanil loxynil (14 días)	2.95	1.71	**	a
Propanil+bromaxynil (14 días)	2.91	1.67	**	a
Control manual (2 veces; 15 y 35 días)	2.80	1.56	**	a
Phenyediphan (14 días)	2.56	1.02	**	a
Propanil+bromaxynil (28 días)	2.48	1.24	**	a
Propanil/CHCL (21 días)	2.42	1.18	**	a
Propanil IPE (28 días)	2.21	0.97	**	a
Propanil loxynil (28 días)	2.04	0.80	*	b
Testigo (sin control)	1.24			b
DMS_{0.05} = 0.59		DMS_{0.01} = 0.80		

Como se puede apreciar todos los tratamientos excepto el penúltimo difieren estadísticamente del testigo, sin embargo son iguales entre sí, por lo que en este caso se debe hacer un análisis cuantitativo, inclusive económico de los tratamientos, pues en estos aspectos estos pueden diferir.

A continuación te muestro la separación de medias a través de la DMS para el Experimento que analizamos en la unidad de los BCA, que consintió en probar 5 variedades de tomate industrial, en cuanto a su diámetro, se resume en la tabla siguiente.

Diámetro de los frutos (en cm) obtenido para diferentes variedades de tomate industrial

Variedades	Bloques					Medias — Y ₁ .
	I	II	III	IV	Totales Y _i .	
Marti	6.64	6.59	6.33	5.80	25.36	6.34
Topacio	7.37	6.21	6.19	6.39	26.16	6.54
Estela	6.87	7.03	6.53	6.66	27.09	6.77
VF-134	5.79	5.49	5.54	5.91	22.73	5.68
UC-82	5.19	5.48	5.42	5.46	21.55	5.38
Totales (Y. j)	31.86	30.80	30.01	30.22	122.89	6.14

El análisis de varianza para este ejercicio nos quedó así:

Análisis de varianza del diámetro (cm) del fruto de 5 variedades de tomate industrial.

F de V	S C	GI	CM	Fc.	Ft	
					5%	1%
Entre tratamientos	5.50	4	1.37	13.7**	3.26	5.41
Entre bloques	0.41	3	0.13	1.3 NS	3.49	5.95
Error.	1.30	12	0.10			
Total	7.21	19				
CV= 5 %						

Para realizar el ANDEVA calculamos las medias entre los tratamientos, procedemos a calcular la DMS.

Calculemos la DMS para $\alpha = 5\%$ y 1%

$$\text{DMS} = t_{\alpha} ; g l e * S d, \text{ o bien } \text{DMS} = t_{\alpha} ; g l e * \sqrt{2(CME) / r}$$

$$\text{DMS}_{0.05} = t_{0.05} 12 g l e * \sqrt{2(CME) / r}$$

$$\text{DMS}_{0.05} = 2.179 * \sqrt{2(0.10) / 4}, \quad \text{DMS}_{0.05} = (2.179) (0.22) = \mathbf{0.48}$$

$$\text{DMS}_{0.05} = \mathbf{0.48}$$

$$\text{DMS}_{0.01} = t_{0.01} 12 g l e * \sqrt{2(CME) / r}$$

$$\text{DMS}_{0.01} = 3.055 * \sqrt{2(0.10) / 4}, \quad \text{DMS}_{0.01} = (3.055) (0.22) = \mathbf{0.67}$$

$$\text{DMS}_{0.01} = \mathbf{0.67}$$

Ahora en la siguiente tabla, ordenamos las medias de los tratamientos de mayor a menor, tomaremos como testigo la variedad UC-82.

Separación de medias para el diámetro (cm) del fruto de 5 variedades de tomate industrial

Tratamientos	Medias	Diferencias de medias	Significancia estadística	Categoría estadística
Estela	6.77	1.39	**	a
Topacio	6.54	1.16	**	a
Martí	6.34	0.96	**	a
VF- 134	5.68	0.30	NS	b
UC-82	5.38			b
DMS_{0.05} = 0.48		DMS_{0.01} = 0.67		

El ANDEVA para este caso nos había demostrado que existe diferencia altamente significativa al menos en un par de variedades, sin embargo no sabíamos cuales variedades precisamente son estadísticamente diferentes o iguales, con la prueba de separación de medias nos damos cuenta que las variedades Estela, Topacio y Martí son estadísticamente diferentes a las variedades VF-134 y UC-82, sin embargo estas variedades son estadísticamente iguales entre sí, esto con un 99% de seguridad al afirmarlo.

Pruebas de Rangos Múltiples

Las pruebas de rangos múltiples son pruebas de efectos sugeridos por los datos, cuando se conoce tan poco respecto a la naturaleza de los tratamientos, que se vacila en proponer comparaciones con sentido, entonces se necesitan técnicas para poder probar efectos sugeridos por los datos, en todo caso las hipótesis nulas van a ser sugeridas por los datos o influyen tanto que entran más del número de grados de libertad para los tratamientos, entonces se debe tener mucho cuidado en el procedimiento de la prueba.

En las pruebas de rangos múltiples la determinación de las categorías estadísticas es realmente más compleja debido a que las diferentes comparaciones de los tratamientos (todos contra todos), por lo que es posible e incluso lógico que un tratamiento o grupo de tratamientos pueda compartir un grupo aproximado de influencia con respecto a otro tratamiento o grupo de tratamientos.

Entre las pruebas de Rangos Múltiples tenemos las siguientes técnicas de separación de medias: prueba de rangos múltiples de Duncan, Tukey, SNK, por efectos de tiempo sólo abordaremos por el momento la prueba de separación de medias de Duncan, además que esta prueba es bastante sencilla y muy confiable.

Prueba de Rangos Múltiples de Duncan

En 1955, Duncan D. B, desarrolló una nueva prueba de rangos múltiples que tiene la ventaja de su sencillez y es en la actualidad una prueba bastante popular, esta prueba exige que todos los tratamientos tengan el mismo número de repeticiones o bloques.

Esta prueba de Duncan es de efectos sugeridos por los datos, la prueba de Duncan permite obtener diferencias significativas con más facilidad, esta prueba se puede aplicar independientemente que el Andeva haya mostrado o no significancia estadística.

En esta prueba lo que se compara son los tratamientos entre sí, o sea todos contra todos, esta técnica de separación de medias se puede utilizar en modelos de DCA, BCA, otros, sin embargo debe tenerse cuidado de no abusar de ella, pues pueden existir otras técnicas como mejor opción.

La ecuación para calcular el valor crítico de Duncan es:

$$R_p = r_{p\alpha} ; g_{le,p} * S_y \dots \text{dónde:}$$

R_p= Es el valor crítico de Duncan o en términos técnicos estadísticos, la diferencia mínima significativa de acuerdo al criterio de Duncan.

r_p=Son los valores tabulares de Duncan, los cuales se toman de acuerdo al $\alpha = 5\%$ o 1% , con “p” número de medias de tratamientos que participan en la comparación de rangos desde “p” =2,3,4,5.....hasta “t” tratamientos para el experimento, así como los correspondientes grados de libertad del error (gle), el valor de r_p se toma de la tabla de valores studentizados significativos (R), para multiplicar por DMS para las medias en varios rangos (p), nivel del 5% y 1%, n grados de libertad del error (anexa a este documento).

S_y= Es el error Standard de la media: **S_y**= $\sqrt{S^2 / r}$, esto es donde S² es el cuadrado medio del error, por lo que esta fórmula la podemos usar así:

$$S_y = \sqrt{CME / r}$$

CME= cuadrado medio del error, se calcula en el Andeva

r=número de réplicas o bloques para BCA y observaciones para los DCA.

Procuraré ilustrarte algunos ejemplos utilizando la prueba de rangos múltiples de Duncan para hacer la separación de medias de ejercicios a los cuales ya les hemos hecho el ANDEVA en DCA como en BCA.

Con la intención de ejemplificar la separación de medias a través de la prueba de Rangos Múltiples de Duncan, se te presenta a continuación la separación de medias para el ejemplo del experimento que se realizó para determinar el efecto de tres tipos de concentrados en la producción de carne en pollos de engorde (documento sobre DCA). La tabla de datos es esta.

Peso (Kg) final de pollos a las 6 semanas bajo tres tipos de concentrado

Tratamientos	Observaciones.					totales Yi.	Medias Yi.
	1	2	3	4	5		
Concentrado Tradicional	3.50	3.35	3.6	3.90	4.0	18.35	3.67
Concentrado Mejorado	3.90	4.1	4.2	3.85	4.0	20.05	4.01
Maíz+sorgo molido (testigo)	3.2	3.0	2.90	3.40	3.8	16.3	3.26

Recordá que el análisis de varianza para el caso quedó así:

Análisis de varianza para el peso final (Kg.) de pollos sometidos a tres tipos de concentrado.

F de V	SC	GI	CM	Fc	Ft	
					5 %	1%
Tratamientos	1.41	2	0.70	9.46**	3.88	6.93
Error	0.89	12	0.074			
Total	2.3	14				
CV= 7.47%						

El primer paso es determinar las medias de los tratamientos (ya se han calculado).

Luego calculamos el error Standard de la media (Sy)

$$Sy = \sqrt{CME / r}$$

$$Sy = \sqrt{0.074 / 5} \quad \text{esto es} \quad Sy = 0.12$$

Sy= 0.12 Kg.

Luego en una tabla por separado se determinan los valores tabulares de Duncan (Rp).

Cálculo de los valores críticos de Duncan para diferentes rangos de comparación

"p", número de medias involucradas en el rango de comparación		
	2	3
rp5%, 12; gle	3.08	3.23
Sy	0.12	0.12
Rp al 5%	0.36	0.38

Como son tres tratamientos se harán **dos** comparaciones de medias, el tratamiento 1 con el 2 y el tratamiento 2 con el 3

El valor de rp5%, 12gle se obtiene de la tabla de valores studentizados para 2 y 3 comparaciones con 12 gle al 5%.

Sy ya lo hemos encontrado antes.

Rp al 5% se obtiene multiplicando el valor de rp5%, 12gle por Sy.

Luego ordenamos las medias de los tratamientos de mayor a menor en una tabla de doble entrada y determinamos las diferencias entre medias.

Separación de medias para el peso final (Kg) de pollos sometidos a tres tipos de concentrado

Medias de los tratamientos		Concentrado mejorado 4.01	Concentrado tradicional 3.67	Maíz + sorgo molido (testigo) 3.26	Rp al 5%	Categoría estadística
Concentrado mejorado	4.01	0	0.34ns	0.75*	0.38	a
Concentrado tradicional	3.67	-	0	0.41*	0.36	a
Maíz + sorgo molido (testigo)	3.26	-	-	0		b

Conclusión

La prueba de rangos múltiples de Duncan realizada con α 5% indica que el conjunto de tratamientos comparados puede agruparse en 2 categorías estadísticamente diferentes entre sí, el concentrado mejorado obtuvo los mayores rendimientos de carne (4.01Kg/pollo), seguido del concentrado tradicional, los menores rendimientos se obtienen cuando se utiliza el tratamiento testigo.

Para reportes de investigación se pueden presentar los datos en tablas sencillas como la que te muestro a continuación para el mismo ejemplo.

Separación de medias para el peso final (Kg) de pollos sometidos a tres tipos de concentrado

Tratamientos	Peso final (kg/pollo)
Concentrado mejorado	4.01a
Concentrado tradicional	3.67a
Maíz + sorgo (testigo)	3.26b

Nota: las medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes entre sí.

A continuación desarrollaremos un ejemplo de un experimento que estableció en un ensayo de campo en BCA, en una estación experimental para determinar el potencial agronómico de 5 variedades de tomate industrial, en la siguiente tabla se muestran los datos correspondientes al diámetro de los frutos de tomate (Aleman M, 1991). La tabla contiene los datos de los promedios.

Diámetro de los frutos (en cm) obtenidos para diferentes variedades de tomate industrial.

Variedades	Bloques					Medias \bar{Y}_i
	I	II	III	IV	Totales Y_i	
Martí	6.64	6.59	6.33	5.80	25.36	6.34
Topacio	7.37	6.21	6.19	6.39	26.16	6.54
Estela	6.87	7.03	6.53	6.66	27.09	6.77
VF-134	5.79	5.49	5.54	5.91	22.73	5.68
UC-82	5.19	5.48	5.42	5.46	21.55	5.38
Totales (Y. j)	31.86	30.80	30.01	30.22	122.89	6.14

El análisis de varianza para este ejercicio nos quedó así:

Análisis de varianza del diámetro (cm) del fruto de 5 variedades de tomate industrial.

F de V	S C	GI	CM	Fc.	Ft	
					5%	1%
Entre tratamientos	5.50	4	1.37	13.7**	3.26	5.41
Entre bloques	0.41	3	0.13	1.3 NS	3.49	5.95
Error.	1.30	12	0.10			
Total	7.21	19				
CV= 5 %						

El primer paso es determinar las medias de los tratamientos (ya se han calculado).

Luego calculamos el error Standard de la media (Sy).

$$Sy = \sqrt{CME / r}$$

$$Sy = \sqrt{0.10 / 4} \quad \text{esto es} \quad Sy = 0.16$$

Sy= 0.16 cms.

Luego en una tabla por separado se determinan los valores tabulares de Duncan (Rp).

Cálculo de los valores críticos de Duncan para diferentes rangos de comparación

"p", número de medias involucradas en el rango de comparación				
	2	3	4	5
rp5%, 12; gle	3.08	3.23	3.33	3.36
Sy	0.16	0.16	0.16	0.16
Rp al 5%	0.49	0.51	0.53	0.54

Luego ordenamos las medias de los tratamientos de mayor a menor en una tabla de doble entrada y determinamos las diferencias entre medias.

Separación de medias para el diámetro (cm) del fruto de 5 variedades de tomate industrial

Variedades	Medias	Estela	Topacio	Marti	VF-134	UC-82	Rp al 5%	Categoría estadística
		6.77	6.54	6.34	5.68	5.38		
Estela	6.77	0	0.23ns	0.43ns	1.09*	1.39*	0.54	a
Topacio	6.54	-	0	0.20ns	0.86*	1.16*	0.53	a
Marti	6.34	-	-	0	0.66*	0.96*	0.51	a
VF-134	5.68	-	-	-	0	0.30ns	0.49	b
UC-82	5.38	-	-	-	-	0		b

Nota: los tratamientos con letras iguales, son estadísticamente iguales entre sí.

Conclusión

La prueba de rangos múltiples de Duncan realizada con α 5% indica que el conjunto de las variedades pueden agruparse en 2 categorías estadísticamente diferentes entre sí, la variedad que produjo los mayores diámetros fue Estela (6.77cms), seguida de Topacio (6.54cms), en cambio los menores diámetros los generó la variedad UC-82 (5.38 cms).

A continuación realizaremos la prueba de separación de medias para un experimento bifactorial establecido para determinar el efecto de 3 densidades de siembra y 3 niveles de Nitrógeno sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento en Chilotes en el cultivo de Maíz (Zea mays). En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos, a continuación se te describen los factores en estudio.

Datos de rendimiento total de chilotes (Kg/pu) cosechados bajo tres distancias de siembra y tres niveles de fertilización nitrogenada

Tratamientos	Bloques				Totales Yij.	Medias Yij.
	I	II	III	IV		
a1b1	4.15	7.90	5.50	3.50	21.05	5.26
a1b2	6.00	8.65	5.00	5.50	25.15	6.29
a1b3	8.25	8.95	8.60	8.40	34.20	8.55
a2b1	7.00	7.30	3.00	3.70	21.00	5.25
a2b2	7.35	7.70	4.70	5.10	24.85	6.21
a2b3	8.50	8.10	8.45	8.10	33.15	8.29
a3b1	5.70	8.90	11.10	5.50	31.20	7.80
a3b2	8.60	8.50	8.25	8.70	34.05	8.51
a3b3	9.85	9.30	8.80	8.40	36.35	9.09
Totales (Y..K)	65.40	75.30	63.40	56.90	261.00	7.25

El ANDEVA para este ejercicio nos había quedado así:

Análisis de varianza para el rendimiento de chilotos (Kg/pu)

F de V	SC	GI	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Densidades	26.73	2	13.36	7.10**	3.40	5.61
Niv. Fert.	39.72	2	19.86	10.56**	3.40	5.61
Dens*niv fert	5.52	4	1.38	0.73 NS	2.78	4.22
Bloques	19.35	3	6.45	3.43*	3.01	4.72
error	45.11	24	1.88			
Total	136.43	35				
CV= 18.9%						

El primer paso es determinar las medias de los tratamientos (ya se han calculado).

Prueba de rangos múltiples de Duncan para el factor A

En el caso de los experimentos bifactoriales se procede a elaborar una tabla con las medias de los factores evaluados y sus interacciones.

Organización de las medias de tratamientos para obtener las medias de cada factor

Factores/niveles		A			Y.J.
		a1	a2	a3	
B	b1	5.26	5.25	7.80	6.10
	b2	6.29	6.21	8.51	7.00
	b3	8.55	8.29	9.09	8.64
	$\bar{Y}_{i..}$	6.70	6.58	8.47	7.25

Luego calculamos el error Standard de la media (Sy) para el factor A

$Sy = \sqrt{CME / br}$, b= niveles del factor b, r= número de bloques o réplicas.

$Sy = \sqrt{1.88 / 3 * 4}$ esto es $Sy = \sqrt{1.88 / 12}$, esto es $Sy = 0.395$

Sy= 0.395

Luego en una tabla por separado se determinan los valores tabulares de Duncan (Rp).

Cálculo de los valores críticos de Duncan para diferentes rangos de comparación

	“p”, número de medias involucradas en el rango de comparación	
	2	3
rp5%, 24; gle	2.92	3.07
Sy	0.395	0.395
Rp al 5%	1.15	1.21

Luego ordenamos las medias de los niveles del factor A de mayor a menor.

Separación de medias para el rendimiento de chilotes (Kg/pu) cosechados bajo tres densidades de siembra y tres niveles de fertilización nitrogenada

Medias/factor A		a3	a1	a2	Rp al 5%	Categoría estadística
		8.46	6.69	6.58		
a3	8.46	0	1.77*	1.88*	1.21	a
a1	6.69	-	0	0.11ns	1.15	b
a2	6.58	-	-	0		b

Conclusión

La prueba de separación de medias de Duncan permite agrupar las diferentes densidades de siembra en dos grupos estadísticamente diferentes. El primer grupo formado por la densidad de siembra a3 (68,600 plantas/ha), esta es la densidad que produce los mayores rendimientos de chilotes, el segundo grupo lo integran las restantes dos densidades de siembra, los rendimientos de estas dos densidades de siembra son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes de la densidad a1.

Prueba de rangos múltiples de Duncan para el factor B

Como ya tenemos (en la tabla anterior) los promedios por factor procedemos a calcular el error Standard de la media (Sy) para el factor B.

Error Standard de la media (Sy) para el factor B.

$Sy = \sqrt{CME / ar}$, a= niveles del factor a, r= número de bloques o réplicas.

$Sy = \sqrt{1.88 / 3 * 4}$ esto es $Sy = \sqrt{1.88 / 12}$, esto es $Sy = 0.395$

Sy= 0.395

Luego en una tabla por separado se determinan los valores tabulares de Duncan (Rp).

Cálculo de los valores críticos de Duncan para diferentes rangos de comparación

“p”, número de medias involucradas en el rango de comparación		
	2	3
rp5%, 24; gle	2.92	3.07
Sy	0.395	0.395
Rp al 5%	1.15	1.21

Luego ordenamos las medias de los niveles del factor B de mayor a menor.

Separación de medias para el rendimiento de chilotos (Kg/pu) cosechados bajo tres densidades de siembra y tres niveles de fertilización nitrogenada

Medias/factor B		b3	b2	b1	Rp al 5%	Categoría estadística
		8.64	7.00	6.10		
b3	8.64	0	1.64*	2.54	1.21	a
b2	7.00	-	0	0.90ns	1.15	b
b1	6.10	-	-	0		b

Conclusión

La prueba de separación de medias de Duncan permite agrupar los diferentes niveles de nitrógeno en dos grupos estadísticamente diferentes. El primer grupo formado por el nivel b3 (100 Kg/ha), este induce a producir los mayores rendimientos de chilotos, en segundo lugar el nivel b2 (75Kg/ha), que es estadísticamente igual al nivel b1.

Anexos

Anexo 1. Tabla de distribución de t

Grados de libertad	Probabilidad de obtener un valor tan grande o mayor			
	10% (90%)	5% (95%)	1% (99%)	0.1% (99.9%)
	0.10	0.05	0.01	0.001
1	6.314	12.706	63.657	--
2	2.920	4.303	9.925	31.598
3	2.353	3.182	5.841	12.941
4	2.132	2.776	4.604	8.610
5	2.015	2.571	4.032	6.859
6	1.943	2.447	3.707	5.959
7	1.895	2.365	3.499	5.405
8	1.860	2.306	3.355	5.041
9	1.833	2.262	3.250	4.781
10	1.812	2.228	3.169	4.587
11	1.796	2.201	3.106	4.437
12	1.782	2.179	3.055	4.318
13	1.771	2.160	3.012	4.221
14	1.761	2.145	2.977	4.140
15	1.753	2.131	2.947	4.073
16	1.748	2.120	2.921	4.015
17	1.740	2.110	2.898	3.965
18	1.734	2.101	2.878	3.922
19	1.729	2.093	2.861	3.883
20	1.725	2.086	2.845	3.850
21	1.721	2.080	2.831	3.819
22	1.717	2.074	2.819	3.792
23	1.714	2.069	2.807	3.767
24	1.711	2.064	2.797	3.745
25	1.708	2.060	2.787	3.725
26	1.706	2.056	2.779	3.707
27	1.703	2.052	2.771	3.690
28	1.701	2.048	2.763	3.674
29	1.699	2.045	2.756	3.659
30	1.697	2.042	2.750	3.646
35	1.690	2.030	2.724	3.591
40	1.684	2.021	2.704	3.551
45	1.680	2.014	2.690	3.520
50	1.676	2.008	2.678	3.496
55	1.673	2.004	2.669	3.476
60	1.671	2.000	2.660	3.460
70	1.667	1.994	2.648	3.435
80	1.665	1.989	2.638	3.416
90	1.662	1.986	2.631	3.402
100	1.661	1.982	2.625	3.390
120	1.658	1.980	2.617	3.373
<i>infinito</i>	1.6448	1.9600	2.5758	3.2905

Adaptada de Little M. Thomas, Hills F. Jackson, Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura

Anexo 2. Valores de las comparaciones múltiples para la prueba Duncan

a= Número de promedios (medias) incluidas en el rango															
gle	Nivel de confianza (α)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
1	95 % (0.05)	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
	99% (0.01)	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
2	95 % (0.05)	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09
	99% (0.01)	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
3	95 % (0.05)	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
	99% (0.01)	8.26	8.50	8.60	8.70	8.90	8.90	8.90	8.90	9.00	9.00	9.10	9.20	9.30	9.30
4	95 % (0.05)	3.93	4.01	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02
	99% (0.01)	6.51	6.80	6.90	7.00	7.10	7.10	7.20	7.20	7.30	7.30	7.40	7.40	7.50	7.50
5	95 % (0.05)	3.64	3.74	3.79	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83
	99% (0.01)	5.70	5.96	6.11	6.18	6.26	6.33	6.40	6.44	6.50	6.60	6.60	6.70	6.70	6.80
6	95 % (0.05)	3.46	3.58	3.64	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68
	99% (0.01)	5.24	5.51	5.65	5.73	5.81	5.88	5.95	6.00	6.00	6.10	6.20	6.20	6.30	6.30
7	95 % (0.05)	3.35	3.47	3.54	3.58	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61
	99% (0.01)	4.95	5.22	5.37	5.45	5.53	5.61	5.69	5.73	5.80	5.80	5.90	5.90	6.00	6.00
8	95 % (0.05)	3.25	3.39	3.47	3.52	3.55	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56
	99% (0.01)	4.74	5.00	5.14	5.23	5.32	5.40	5.47	5.51	5.50	5.60	5.70	5.70	5.80	5.80
9	95 % (0.05)	3.20	3.34	3.41	3.47	3.50	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52
	99% (0.01)	4.60	4.86	4.99	5.08	5.17	5.25	5.32	5.36	5.40	5.50	5.50	5.30	5.70	5.70
10	95 % (0.05)	3.15	3.3	3.37	3.43	3.46	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.48
	99% (0.01)	4.48	4.73	4.88	4.96	5.06	5.13	5.20	5.24	5.28	5.36	5.42	5.48	5.54	5.55
11	95 % (0.05)	3.11	3.27	3.35	3.39	3.43	3.44	3.45	3.46	3.46	3.46	3.46	3.46	3.47	3.48
	99% (0.01)	4.39	4.63	4.77	4.86	4.94	5.01	5.06	5.12	5.15	5.24	5.28	5.34	5.38	5.39
12	95 % (0.05)	3.08	3.23	3.33	3.36	3.4	3.42	3.44	3.44	3.46	3.46	3.46	3.46	3.47	3.48
	99% (0.01)	4.32	4.55	4.68	4.76	4.84	4.92	4.96	5.02	5.07	5.13	5.47	5.22	5.24	5.26
13	95 % (0.05)	3.06	3.21	3.3	3.35	3.38	3.41	3.42	3.44	3.43	3.45	3.46	3.46	3.47	3.47
	99% (0.01)	4.26	4.49	4.62	4.69	4.74	4.84	4.88	4.94	4.98	5.04	5.08	5.13	5.24	5.15
14	95 % (0.05)	3.03	3.18	3.27	3.33	3.37	3.39	3.41	3.42	3.44	3.45	3.46	3.46	3.47	3.47
	99% (0.01)	4.21	4.42	4.55	4.63	4.70	4.78	4.89	4.87	4.91	4.96	5.00	5.04	5.06	5.07
15	95 % (0.05)	3.01	3.16	3.25	3.31	3.36	3.38	3.4	3.42	3.43	3.44	3.45	3.46	3.47	3.47
	99% (0.01)	4.17	4.37	4.50	4.58	4.66	4.72	4.77	4.81	4.84	4.90	4.94	4.97	4.99	5.00
16	95 % (0.05)	3.00	3.18	3.23	3.30	3.34	3.37	3.39	3.41	3.43	3.44	3.45	3.46	3.47	3.47
	99% (0.01)	4.13	4.34	4.45	4.54	4.6	4.67	4.72	4.76	4.79	4.84	4.88	4.91	4.93	4.94
17	95 % (0.05)	2.98	3.13	3.22	3.28	3.33	3.36	3.38	3.4	3.42	3.44	3.45	3.46	3.47	3.47
	99% (0.01)	4.10	4.30	4.41	4.50	4.56	4.63	4.68	4.73	4.75	4.80	4.83	4.86	4.88	4.89
18	95 % (0.05)	2.97	3.12	3.21	3.27	3.32	3.35	3.37	3.39	3.41	3.43	3.45	3.46	3.47	3.47
	99% (0.01)	4.07	4.27	4.38	4.46	4.53	4.59	4.64	4.68	4.71	4.76	4.79	4.82	4.84	4.85
19	95 % (0.05)	2.96	3.11	3.19	3.26	3.31	3.35	3.37	3.39	3.41	3.43	3.44	3.46	3.47	3.47
	99% (0.01)	4.05	4.24	4.25	4.43	4.5	4.56	4.61	4.64	4.67	4.72	4.76	4.79	4.81	4.82
20	95 % (0.05)	2.95	3.10	3.18	3.25	3.30	3.34	3.36	3.38	3.40	3.43	3.44	3.46	3.46	3.47
	99% (0.01)	4.02	4.22	4.33	4.4	4.47	4.53	4.58	4.61	4.65	4.69	4.73	4.76	4.78	4.79
22	95 % (0.05)	2.93	3.08	3.17	3.24	3.29	3.32	3.35	3.37	3.39	3.42	3.44	3.45	3.46	3.47
	99% (0.01)	3.99	4.17	4.28	4.36	4.42	4.48	4.53	4.57	4.60	4.65	4.68	4.71	4.74	4.75
24	95 % (0.05)	2.92	3.07	3.15	3.22	3.28	3.31	3.34	3.37	3.38	3.41	3.44	3.46	3.46	3.47
	99% (0.01)	3.96	4.14	4.24	4.33	4.39	4.44	4.49	4.53	4.57	4.62	4.64	4.67	4.7	4.72
26	95 % (0.05)	2.91	3.06	3.14	3.21	3.27	3.30	3.34	3.36	3.38	3.41	3.43	3.45	3.46	3.47

	99% (0.01)	3.93	4.11	4.21	4.80	4.36	4.41	4.46	4.50	4.53	4.58	4.62	4.65	4.67	4.69
28	95 % (0.05)	2.8	3.04	3.13	3.2	3.26	3.3	3.33	3.35	3.37	3.4	3.43	3.45	3.46	3.47
	99% (0.01)	3.91	4.08	4.18	4.28	4.34	4.39	4.43	4.47	4.51	4.56	4.6	4.62	4.65	4.67
30	95 % (0.05)	2.89	3.04	3.12	3.20	3.25	3.29	3.32	3.35	3.37	3.40	3.43	3.44	3.46	3.47
	99% (0.01)	3.89	4.06	4.16	4.22	4.32	4.36	4.41	4.45	4.18	4.54	4.58	4.61	4.63	4.65
40	95 % (0.05)	2.86	3.01	3.10	3.17	3.22	3.27	3.30	3.35	3.35	3.39	3.42	3.44	3.46	3.47
	99% (0.01)	3.82	3.99	4.15	4.17	4.24	4.30	4.34	4.37	4.41	4.46	4.51	4.54	4.57	4.59
60	95 % (0.05)	2.83	2.98	3.08	3.14	3.20	3.24	3.28	3.31	3.33	3.57	3.40	3.43	3.45	3.47
	99% (0.01)	3.76	3.92	4.03	4.12	4.17	4.23	4.27	4.31	4.34	4.39	4.44	4.47	4.50	4.53
100	95 % (0.05)	2.80	2.95	3.05	3.12	3.18	3.22	3.26	3.29	3.32	3.36	3.40	3.42	3.45	3.47
	99% (0.01)	3.71	3.86	3.98	4.06	4.11	4.17	4.21	4.25	4.29	4.35	4.38	4.42	4.45	4.48
∞	95 % (0.05)	2.77	2.92	3.02	3.09	3.15	3.19	3.23	3.26	3.29	3.34	3.38	3.41	3.44	3.47
	99% (0.01)	3.64	3.80	3.90	3.98	4.04	4.09	4.14	4.17	4.20	4.26	4.31	4.34	4.38	4.41

Actividades para la 4ta y 5ta unidad

Ejercicios DCA

Para cada uno de los siguientes ejercicios realice el ANDEVA y la separación de medias con la técnica de la DMS.

Ejercicio 1: Se desea probar tres tipos de hormonas cada una en dosis únicas para conocer la capacidad de aumento de peso en ovejas, estas se evaluaron a los 100 días de suministrada la hormona.

Tabla 1: *Peso de Ovejas (lbs/unidad) bajo el efecto de tres tipos de Hormonas*

Tratamientos	Observaciones				Totales Yi..	Promedios Yi.
	1	2	3	4		
1	50	54	67	57		
2	57	53	69	57		
3	54	65	74	59		
Totales						
Promedios						

Ejercicio 2: Se estableció un DCA, en un invernadero, en este se quería conocer el poder germinativo de 4 variedades de pasto, en el ensayo se perdieron algunas observaciones por lo que se consideró un DCA con diferente número de repeticiones.

Tabla 2: *Porcentaje de germinación de 4 variedades de pasto.*

Variedades (Tratamientos)	Observaciones						Totales (Yi.)	Promedios (Yi.)
	1	2	3	4	5	6		
1	89	80	83	82	--	83		
2	86	88	89	91	84	--		
3	94	90	92	95	93	92		
4	80	75	83	82	80	85		
Totales								
promedios								

Ejercicio 3: En un invernadero se realizó un ensayo con 5 variedades de frijol con el objetivo de determinar que variedades eran resistentes a Rizotonia solanus, cada variedad se estableció con 4 observaciones o replicas y se evaluó el número de plantas 8 días después de la germinación.

Tabla 3: Evaluación a la resistencia a Rizotonia solanus de 5 variedades de frijol

Tratamientos (variedades)	Observaciones				Totales (Yi.)	Promedios (Yi.)
	1	2	3	4		
Rev-84	2.708	2.485	2.398	2.833		
Rev-82	2.773	2.485	2.485	2.944		
Rev-79	2.944	2.944	2.944	2.890		
Rev-81	2.639	2.890	2.639	2.833		
Rev-84	2.944	2.944	2.944	2.944		
Totales						
Promedios						

Ejercicio 4: Se condujo un ensayo para conocer el efecto de 5 diferentes tipos de alimentación en cerdos de engorde, al final del periodo de evaluación se obtuvieron los pesos (en Libras) de los cerdos evaluados, estos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4: Peso (Lbs) de cerdos evaluados con 5 raciones alimenticias.

Tratamientos	Observaciones				Totales Yi..	Promedios Yi.
	1	2	3	4		
1	656.30	718.40	586.60	746.20		
2	784.40	713.40	915.80	629.60		
3	924.50	822.80	824.20	978.50		
4	534.40	685.10	567.20	655.50		
5	640.70	658.80	532.70	614.40		
Totales						
Promedios						

Ejercicios BCA

Para cada uno de los siguientes ejercicios realice el ANDEVA y la separación de medias con la técnica de Duncan.

Ejercicio 1. Dos pasantes de la carrera de Ingeniería Agroforestal de URACCAN, Nueva Guinea, establecieron un ensayo de campo, a través de un BCA en la colonia Yolaina, para evaluar el efecto de 5 alternativas de control de malezas en el cultivo de Yuca, a continuación se te muestran los cuadros de datos que se obtuvieron para cada variable evaluada, realiza el ANDEVA para cada variable (Tomado de Urbina Báez Eliécer, Gámez Padilla Yelba, Evaluación de 5 alternativas de control de control de Malezas en yuca (*Manihot sculenta*), en la colonia Yolaina, Nueva Guinea, 2005. Monografía)

Tabla 1: Altura de plantas del cultivo de yuca (m/planta) bajo 5 alternativas de control de malezas

Tratamientos	Bloques				Total	Promedio
	I	II	III	IV		
Yuca+Cannavalia(T1)	2.11	2.09	2.37	3.45		
Yuca+Mungo (T2)	2.05	2.58	1.83	2.26		
Yuca+Caupi (T3)	2.2	1.45	2.9	3.66		
control Manual (T4)	2.2	2.18	2.24	2.38		
control con Herbicida (T5)	2.28	2.15	1.97	1.88		
sin control (T6)	2.2	2.09	1.85	2.02		
Total						
Promedios						

Tabla 2: Cobertura de Malezas (%) en el cultivo de yuca bajo 5 alternativas de control de malezas

Tratamientos	Bloques				Total	Promedio
	I	II	III	IV		
Yuca+Cannavalia(T1)	13.19	13.94	17.81	12.25	57.19	
Yuca+Mungo (T2)	49.63	51.75	42.88	56.06	200.31	
Yuca+Caupi (T3)	50.06	43.50	44.94	51.13	189.63	
control Manual (T4)	51.06	47.69	47.94	45.50	192.19	
control con Herbicida (T5)	35.06	50.19	29.63	44.63	159.50	
sin control (T6)	68.81	73.56	70.63	74.50	287.50	
Total						
Promedio						

Tabla 3: Rendimiento del cultivo de yuca (qq/mnz) bajo 5 alternativas de control de malezas

Tratamientos	Bloques				Total	promedio
	I	II	III	IV		
Yuca+Cannavalia(T1)	167.65	136.60	158.34	155.23		
Yuca+Mungo (T2)	121.08	170.76	130.39	155.23		
Yuca+Caupi (T3)	161.44	108.66	189.38	102.45		
control Manual (T4)	155.23	158.34	127.29	133.50		
control con Herbicida (T5)	145.92	145.92	93.14	105.56		
sin control (T6)	121.08	155.23	90.03	86.93		
Total						
Promedio						

Tabla 4: Diámetro de raíces de yuca (cm) bajo 5 alternativas de control de malezas

Tratamiento	Bloques o Replicas				Total	Promedio
	R1	R1	R3	R4		
Yuca+Cannavalia(T1)	3.56	3.25	2.97	3.45		
Yuca+Mungo (T2)	2.51	3.64	1.14	3.08		
Yuca+Caupi (T3)	3.42	1.75	4.17	2.77		
control Manual (T4)	2.86	3.43	3.20	2.33		
control con Herbicida (T5)	2.54	3.67	1.73	1.46		
sin control (T6)	1.93	2.33	2.55	1.98		
Totales						
Promedios						

Referencias

- Alemán, Freddy (2003). Análisis e interpretación de datos provenientes de experimentos agrícolas, curso corto, UNA.
- Álvarez, Amador Carlos (2005). Cómo interpretar resultados provenientes del SAS. Folleto.
- Beteta, Tania (1999). Metodología de la investigación, Universidad Nacional Agraria (UNA). Managua, Nicaragua.
- Martínez, Garza Ángel (1994). Experimentación agrícola, métodos estadísticos, Universidad autónoma de Chapingo, México, pp. 357.
- Little, M. Thomas, Hills Jackson F. (1990). Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura, segunda edición, México, Trillas, pp. 270.
- Pedroza Pedroza, Henry (1993). Fundamentos de experimentación agrícola. Mangua, Nicaragua.